UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Efeitos da execução prévia do exercício físico e cognitivo sobre a
estratégia de prova no ciclismo: um estudo acerca dos componentes
centrais e periféricos da fadiga neuromuscular

MARCOS DAVID DA SILVA CAVALCANTE

São Paulo

2016

MARCOS DAVID DA SILVA CAVALCANTE

Efeitos da execução prévia do exercício físico e cognitivo sobre a estratégia de prova no ciclismo: um estudo acerca dos componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular

VERSÃO CORRIGIDA

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em ciências.

Área de Concentração: Estudos Biodinâmicos da Educação Física e Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi.

São Paulo

2016

Catálogo da Publicação

Serviço de Biblioteca

Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Cavalcante, Marcos David da Silva

Efeitos da execução prévia do exercício físico e cognitivo
sobre a estratégia de prova no ciclismo: um estudo acerca dos
componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular /

Marcos David da Silva Cavalcante. – São Paulo: [s.n.], 2016.

90p

Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

1. Exercício físico 2. Fadiga 3. Desempenho esportivo
4. Ciclismo I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: CAVALCANTE, Marcos David da Silva

Título: Efeitos da execução prévia do exercício físico e cognitivo sobre a estratégia de prova no ciclismo: um estudo acerca dos componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Data:___/___/___

Banca Examinadora

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

Prof. Dr.:_____

Instituição:_____Julgamento:_____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô Gerson José da Silva (em memória) e a minha avó Maria Anita Cavalcante (em memória) pelos seus ensinamentos e por serem um dos responsáveis pela pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Marcos André Cavalcante e Rosineide da Silva por sempre terem me apoiado e não terem medido esforços para fornecer a melhor educação possível para mim.

Aos meus avós, Maria Helena, Maria Anita e Gerson José pela minha criação e ensinamentos ao longo da minha vida.

Aos meus irmãos, Diogo, Pablo e Rayanne pelas alegrias em nossa convivência.

A minha cunhada Cibelle, pelo incentivo no decorrer do doutorado.

Ao meu querido sobrinho André Gabriel, pelos momentos alegres e pelos vários “eu te amo tio” cada vez que nos despedimos.

Ao meu tio Carlinho, pelos seus conselhos e incentivos durante toda minha vida.

À minha esposa Kelly Soares, por fazer parte da minha vida, pela paciência durante todo o desenvolvimento desse trabalho e acima de tudo, por ter me “dado” a minha pequena Ana Luiza Soares Cavalcante.

À minha amada filha, Ana Luiza, simplesmente pelo fato de existir em minha vida e por tornar o mundo mais belo a cada sorriso e gargalhada. Te amo!

A todos amigos do grupo GEDAE, Renata, Salomão, Mayara, Leonardo, Ramon, Rodrigo Urso, Arthur, Beto e Rogério pelos momentos de alegrias e pelas piadas ao longo do doutorado. Em especial, gostaria de agradecer ao Rafael e Patrícia pelo convívio e a ajuda durante todo período de coleta dos dados.

Aos amigos, Carlos Rafaell e Victor Gustavo por acreditar que a realização de um sonho era possível e estarem comigo no início dessa jornada.

Aos amigos João e Kleiner pela companhia ao longo do doutorado ao longo de todo esse processo.

Agradeço ao meu orientador, Rômulo Bertuzzi, pelos ensinamentos e paciência ao longo do doutorado. Também tenho que agradecer pelos conselhos dados nos

momentos necessários. Com toda certeza, aprendi muito com você ao longo meu doutorado. Muito obrigado.

Não poderia deixar de agradecer o maior responsável por eu ter chegado até aqui, que é o professor Adriano Eduardo Lima Silva. Pois, foi quem me ensinou a dar os primeiros passos na carreira acadêmica. Gostaria de agradecer pelo convívio durante todos esses anos que foi de grande importância para minha formação profissional e pessoal.

Ao amigo Edson, técnico do LADESP, pelo convívio ao longo desses anos e pela ajuda com equipamentos e materiais.

Ao Dr. Felipe Hardt pelo auxílio nas avaliações dos atletas e por estar sempre disposto em ajudar.

Ao professor Bruno Gualano, pelo acesso Laboratório de Nutrição e Metabolismo da Atividade Motora para centrifugação e armazenamento das amostras sanguíneas.

Ao Laboratório de Investigação em Oftalmologia coordenado pelo profº Paulo Hilário Nascimento Saldiva, em especial, a pesquisadora Drª Monique Matsuda pelo auxílio com as análises de citocinas.

A todos da comissão de pós-graduação, Paulo, Ilza, Márcio e Mariana por terem sido sempre atenciosos e eficientes em me ajudar em todos os momentos de dúvidas ao longo de todo doutorado.

A todos ciclistas que se disponibilizaram e dedicaram várias horas para participar deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado durante todo o doutorado.

RESUMO

CAVALCANTE, M. D. S. **Efeitos da execução prévia do exercício físico e cognitivo sobre a estratégia de prova no ciclismo: um estudo acerca dos componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular.** 2016. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016.

O objetivo do presente estudo foi analisar os efeitos da execução prévia de exercício físico e cognitivo sobre os componentes central e periférico da fadiga neuromuscular durante um teste contrarrelógio de 4 km de ciclismo. Para tanto, oito ciclistas treinados ($n = 8$) participaram de três diferentes estudos. No estudo 1, os atletas realizaram o teste contrarrelógio após assistir documentário (CON) ou após tarefa cognitiva (TC). No estudo 2, o teste de 4 km de ciclismo foi realizado após 100 *drop jumps* (DJ), 48 horas após 100 *drop jumps* (48h-DJ) e sem a realização prévia de exercício (CON). No estudo 3, o teste contrarrelógio foi realizado após fadiga prévia de membros superiores (FB) e inferiores (FP) e sem fadiga prévia (CON). Em todos os estudos, parâmetros de fadiga central e periférica foram avaliados por meio da técnica de estimulação elétrica no nervo femoral em repouso, pré e pós 4km de ciclismo. Estudo 1: O desempenho foi similar ($P > 0,05$) entre CON ($376 \pm 26,9$ s) e TC ($376,3 \pm 26$ s). Do mesmo modo, não encontramos diferenças significativas ($P > 0,05$) para parâmetros de fadiga central e periférica entre CON e TC. Estudo 2. O desempenho foi significativamente ($P < 0,05$) prejudicado em DJ (-2,3%) e houve uma tendência em 48h-DJ (-1,8%). A redução no desempenho em 48h-DJ foi devido à menor potência na parte inicial da prova ($P < 0,05$). Em DJ a piora no desempenho foi em decorrência de menor potência ($P < 0,05$) na parte inicial e final da prova. Houve uma exacerbada ($P < 0,05$) fadiga periférica após o contrarrelógio em DJ ($1\text{Hz}_{\text{pot}} = -44,7\%$) comparado com CON ($1\text{Hz}_{\text{pot}} = -20,1\%$). Além disso, significativa fadiga de baixa frequência foi observada em DJ comparado com CON. Por outro lado, parâmetros de fadiga central e periférica apresentaram valores similares entre CON e 48h-DJ ($P > 0,05$). No entanto, foi encontrado aumento significativo ($P < 0,05$) na dor muscular tardia em 48h-DJ comparado com CON e DJ. Estudo 3: O desempenho foi reduzido em FP (-2,3%) e FB (-1,5%) quando comparado com CON. O menor desempenho nas condições FP e FB foi acompanhado por redução na potência ($P < 0,05$) na parte inicial (condição FP) e na parte final (condições FP e FB) a prova. Ao final dos 4 km de ciclismo, os participantes apresentaram menor ($P < 0,05$) fadiga periférica em FB ($1\text{Hz}_{\text{pot}} = -11,9\%$) comparado com CON ($1\text{Hz}_{\text{pot}} = -20,1\%$). Em FP, houve maior fadiga periférica em comparação a condição CON e FB. Em conclusão, os resultados destes estudos sugerem que apenas a execução prévia de exercício envolvendo a musculatura utilizada no ciclismo promove alterações nos componentes periféricos da fadiga neuromuscular após 4 km de ciclismo.

Palavras-chave: estratégia de prova; desempenho; fadiga central; fadiga periférica.

ABSTRACT

CAVALCANTE, M. D. S. **Effect of prior physical and cognitive exercise on pacing strategy in cycling: a study on the central and peripheral components of neuromuscular fatigue.** 2016. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016.

The aim of this study was to analyze the effects of previous execution of physical exercise and cognitive on the central and peripheral components of the neuromuscular fatigue during a 4 km cycling time trial. Eight trained cyclists ($n = 8$) participated of three different studies. In study 1, the athletes performed the 4 km cycling time trial test after watching a documentary (CON) or after a cognitive task (CT). In study 2, the 4-km cycling test was performed after 100 drop jumps (DJ), 48 hours after 100 drop jumps (48h-DJ) and without previous exercise (CON). In study 3, the time trial was performed after pre-fatigue of the upper (FU) and lower (FL) body and without pre-fatigue (CON). In all studies, central and peripheral fatigue parameters were evaluated via electrical stimulation in femoral nerve at rest, before and after 4km cycling. Study 1: Performance was similar ($P > 0.05$) between CON (376 ± 26.9 s) and TC (376.3 ± 26 s). Likewise, we found no significant differences ($P > 0.05$) for parameters of central and peripheral fatigue between CON and CT. Study 2: Performance was significantly ($P < 0.05$) impaired in DJ (-2.3%) and there was a trend in 48h-DJ (-1.8%). This reduction in performance in 48h-DJ was due to a lower power at first part of the time trial ($P < 0.05$). In DJ condition, loss in performance was due to lower power ($P < 0.05$) at the start and end phases of the test. There was exacerbated ($P < 0.05$) peripheral fatigue after the time trial in DJ (1Hzpot = -44.7%) compared to CON (1Hzpot = 20.1%). Furthermore, a significant low frequency fatigue was observed in DJ compared to CON. On the other hand, central and peripheral fatigue parameters showed similar values between CON and 48h-DJ ($P > 0.05$). However, a significant increase in delayed onset muscle soreness was found in 48h-DJ than CON and DJ. Study 3: Performance was reduced in FU (-2.3%) and FL (-1.5%) compared to CON. The lowest performance was accompanied by a reduction in power ($P < 0.05$) in the initial (FL) and final (FL and FU) phases of the time trial. After 4 km cycling, participants had a lower ($P < 0.05$) peripheral fatigue in FU (1Hzpot = -11.9%) compared with CON (1Hzpot = -20.1%). In FL, there was a greater peripheral fatigue compared to CON and FB condition. In conclusion, the results of these studies suggest that only the previous execution of exercise involving the muscles used in cycling causes changes in the peripheral components of the neuromuscular fatigue after 4 km of cycling.

Key words: pacing strategy; performance; central fatigue; peripheral fatigue.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Exemplo de estratégia de prova negativa.....	21
FIGURA 2 – Exemplo de estratégia de prova positiva.....	23
FIGURA 3 – Exemplo de estratégia de prova constante.....	24
FIGURA 4 – Exemplo de estratégia de prova variável.....	26
FIGURA 5 – Exemplo de estratégia de prova parabólica.....	25
FIGURA 6 – Desenho experimental do estudo 1.....	40
FIGURA 7 – Desenho experimental do estudo 2.....	42
FIGURA 8 – Desenho experimental do estudo 3.....	44
FIGURA 9 – Delta dos valores de sensação de fadiga e motivação nas condições controle e após teste cognitivo.....	47
FIGURA 10 – Tempo nos 4km de ciclismo realizado nas condições controle e após o teste cognitivo.....	47
FIGURA 11 – Estratégia de prova durante 4km de ciclismo nas condições controle e após o teste cognitivo.....	48
FIGURA 12 – Percentual de mudança em CVIM, %AV, 1Hzpot e 10Hzpot nas condições controle e após teste cognitivo.....	49
FIGURA 13 – Média e desvio padrão de VO ₂ , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle e após teste cognitivo.....	51
FIGURA 14 – Tempo nos 4km de ciclismo realizado nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	52
FIGURA 15 – Estratégia de prova durante 4km de ciclismo nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	55
FIGURA 16 – Percentual de mudança em CVIM, %AV, 1Hzpot e 10Hzpot nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	56
FIGURA 17 – Média e desvio padrão de VO ₂ , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	58

FIGURA 18 – Tempo nos 4km de ciclismo realizado nas condições controle, fadiga prévia de membros inferiores e fadiga prévia de membros superiores.....	59
FIGURA 19 – Estratégia de prova durante 4km de ciclismo nas condições controle, fadiga prévia de membros superiores e fadiga prévia de membros inferiores.....	60
FIGURA 20 – Percentual de mudança em CVIM, %AV, 1Hz e 10Hz nas condições controle, fadiga prévia membros inferiores e fadiga prévia de membros inferiores.....	61
FIGURA 21 – Média e desvio padrão de VO_2 , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle, fadiga prévia de membros inferiores e fadiga prévia de membros superiores.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Média e desvio padrão de PO _{máx} , VO _{2máx} , FC _{máx} , LV1 e LV2 durante teste progressivo máximo.....	46
TABELA 2 – Média e desvio padrão de PO, VO ₂ , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle e após teste cognitivo.....	50
TABELA 3 – Média e desvio padrão dos indicadores de dano muscular nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	53
TABELA 4 – Concentrações de citocinas nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	54
TABELA 5 – Média e desvio padrão de PO, VO ₂ , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle, drop jump e 48h após DJ.....	57
TABELA 6 – Média e desvio padrão de PO, VO ₂ , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle, fadiga prévia de membros inferiores e fadiga prévia de membros superiores.....	62

LISTA DE ABREVIações

SNC – Sistema nervoso central

PSE – Percepção subjetiva do esforço

PO_{máx} – Potência máxima

PO – Produção de potência

FC_{máx} – Frequência cardíaca máxima

FC – Frequência cardíaca

VO₂_{máx} – Consumo máximo de oxigênio

VO₂ – Consumo de oxigênio

CON – Controle

TC – Teste cognitivo (AX-CPT)

DM – Dano muscular

DJ – *Drop jump*

FP – Fadiga prévia de membros inferiores

FB – Fadiga prévia de membros superiores

CVIM – Contração voluntária isométrica máxima

TDF – Taxa de desenvolvimento de força

CK – Creatina quinase

LDH – Lactato desidrogenase

IL 1 – Interleucina 1

IL 6 – Interleucina 6

IL 10 – Interleucina 10

TNF- α – Fator de necrose tumoral-alfa

MIP-1^a – Proteína inflamatória de monócitos 1^a

MCP-1 – Proteína quimiotática de monócitos-1

TPMMS – Teste progressivo máximo para membros superiores

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos	19
1.1.2.1 Estudo 1	19
1.1.2.2 Estudo 2	19
1.1.2.3 Estudo 3	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Tipos de estratégia de prova.....	21
2.1.1 Estratégia de prova negativa.....	21
2.1.2 Estratégia de prova positiva	23
2.1.3 Estratégia de prova constante.....	24
2.1.4 Estratégia de prova variável.....	25
2.1.5 Estratégia de prova parabólica.....	26
2.2 Estratégia de prova e desempenho	27
2.3. Mecanismos de regulação da estratégia de prova.....	29
2.3.1 Modelo de sistema controlador extramuscular e teleantecipação.....	29
2.3.2 Governador central	31
2.3.3 Limiar crítico individual de fadiga periférica.....	32
2.3.4 Modelo psicobiológico	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 Amostra	36
3.2 Teste progressivo máximo	37
3.3 Teste de familiarização.....	38
3.4 4 km de ciclismo contrarrelógio	38
3.5 Protocolo de estimulação elétrica.....	38
3.6 Análises dos dados de estimulação elétrica.....	39
3.7 Aquisição do sinal eletromiográfico	40
3.8 Estudo 1	41
3.8.1 Desenho experimental	41
3.8.2 Controle.....	41
3.8.3 Teste cognitivo	42
3.9 Estudo 2	42
3.9.1 Desenho experimental	42
3.9.2 Protocolo de <i>drop jump</i>	43

3.9.3 Marcadores de dano muscular	43
3.9.4 Coleta sanguínea e análise de marcadores bioquímicos	44
3.10 Estudo 3	44
3.10.1 Desenho experimental	44
3.10.2 Protocolo de <i>drop jump</i>	44
3.10.3 Teste progressivo máximo para membros superiores.....	44
3.11 Análises estatísticas	46
4 RESULTADOS.....	47
4.1 Resultado geral	47
4.2 Estudo 1	47
4.3 Estudo 2.....	53
4.4 Estudo 3.....	60
5 DISCUSSÃO.....	65
5.1 Estudo 1	65
5.2 Estudo 2.....	68
5.3 Estudo 3.....	71
6 LIMITAÇÕES.....	74
7 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	76
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que esportes cíclicos predominantemente aeróbios exigem que os atletas percorram determinada distância no menor tempo possível (ciclismo, corrida, remo, natação). Na tentativa de maximizar o desempenho, atletas têm adotado diferentes estratégias de prova de acordo com seu nível de treinamento (LIMA-SILVA et al. 2010), estado nutricional (SILVA-CAVALCANTE et al. 2013; LIMA-SILVA et al. 2013) e condições ambientais (ALTAREKI et al. 2009). A estratégia de prova tem sido definida como a maneira pela qual o atleta distribui a potência/velocidade ao longo de uma prova com intuito de atingir o ponto final da prova no menor tempo possível (DE KONNING et al. 1999).

Investigações prévias têm proposto um mecanismo multifatorial que estaria envolvido na escolha da estratégia de prova (AMANN et al. 2011; St CLAIR GIBSON et al. 2006). Acredita-se que esse mecanismo é centralmente regulado de acordo com alterações metabólicas periféricas produzidas pelo exercício físico. Ainda de acordo com esse modelo teórico, as alterações metabólicas seriam "enviadas" através de nervos aferentes III e IV e integradas no sistema nervoso central (SNC), resultando na redução ou no aumento do comando motor central através dos nervos eferentes. Desse modo, esse mecanismo sugere que alterações no músculo esquelético e/ou no SNC resultariam em mudanças na estratégia de prova adotada. Porém, essa hipótese não tem sido completamente elucidada pelos estudos disponíveis na literatura.

Em relação às alterações periféricas, o dano muscular (DM) tem sido apontado como fator determinante do desempenho (TWIST e ESTON, 2009; MARCORA e BOSIO, 2007). De fato, Marcora e Bosio (2007) encontraram significativa redução na distância percorrida durante 30 min de corrida 48 h após o 100 *drop jumps* comparado com a condição controle. Do mesmo modo, Twist e Eston (2009) evidenciaram significativa redução na distância percorrida, na média de produção de potência e aumento da percepção subjetiva do esforço (PSE) durante 5 min de ciclismo contrarrelógio em atletas com DM. Adicionalmente, esses autores observaram que o pico de produção de potência durante os últimos 60 segundos do teste contrarrelógio foi menor após DM (TWIST e ESTON, 2009). Apesar de Twist e Eston (2009) terem avaliado os efeitos do DM sobre a estratégia de prova, a relação entre os marcadores inflamatórios e a estratégia de prova permanece desconhecida. Isso seria especialmente importante, uma vez que, recentemente, um modelo neuroinflamatório

de controle da intensidade de exercício tem sido proposto. Nesse modelo, Vargas e Marino (2014) sugeriram que alterações nos níveis de citocinas promoveriam ativação dos nervos aferentes III e IV, aumentando a sensação de fadiga e reduzindo o comando motor central para o músculo. Sendo assim, componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular seriam afetados em condição de DM devido ao aumento das concentrações de citocinas e ao dano nas estruturas musculares, respectivamente.

Outros estudos têm demonstrado que o desempenho é reduzido após a indução de fadiga prévia (ESTON et al. 2004; AMANN et al. 2008). De acordo com esses estudos, a redução do desempenho se deve ao aumento da atividade dos nervos aferentes, resultando em menor recrutamento muscular durante a tarefa realizada na condição com fadiga prévia. Por exemplo, Amman et al. (2008) induziram diferentes níveis de fadiga prévia por meio de exercícios de cargas constantes à 67 e 83%W_{máx} antes do teste de 5 km contrarrelógio de ciclismo. A intensidade durante os 5 km de ciclismo realizado na condição com maior nível de fadiga prévia (83%POMáx) foi menor quando comparado às condições controle e com menor nível de fadiga prévia (após 67%POMáx), ao passo que a intensidade durante os 5 km de ciclismo contrarrelógio após 67%POMáx foi menor quando comparado à condição controle. Interessantemente, o nível de fadiga periférica, avaliado por meio de estímulos magnéticos sobre o nervo femoral, foi similar entre as condições. De acordo com os autores, a intensidade nos 5 km de ciclismo foi regulada pelo SNC por meio da redução no recrutamento muscular, tendo como base as informações enviadas pelos nervos aferentes. É importante destacar que nesse estudo a fadiga prévia foi realizada no mesmo grupamento muscular envolvido no teste de 5 km de ciclismo. Porém, não é conhecido, até o presente momento, se a fadiga prévia de grupamento muscular não envolvido no teste contrarrelógio de ciclismo pode levar a alterações na estratégia de prova.

Nesse sentido, Johnson et al (2015) demonstraram que após a realização de exercício para membros superiores o tempo para exaustão no exercício realizado em cicloergômetro para membros inferiores foi significativamente reduzido. Em adição, esses autores constataram, por meio da técnica de estimulação elétrica no nervo femoral, que a redução no desempenho foi acompanhada por maior fadiga central em comparação com a condição controle. Porém, devido ao protocolo utilizado no estudo

de Johnson et al (2015), não é conhecido até o presente momento quais são os efeitos das alterações nos componentes centrais da fadiga neuromuscular promovidas pela fadiga prévia dos músculos não envolvidos no ciclismo sobre a estratégia de prova. Portanto, a realização de estudos no qual a fadiga prévia é induzida em grupamentos musculares que não estão envolvidos na tarefa subsequente torna-se necessário para melhor entendimento dos mecanismos de regulação da estratégia de prova.

Em relação à influência do SNC sobre a estratégia de prova adotada, alguns estudos têm utilizado fármacos (ROELANDS et al. 2008) e tarefa cognitiva para indução de fadiga mental (PAGEAUX et al. 2014; MARTIN et al. 2015). A tarefa cognitiva prévia, especificamente, tem sido associada com a redução do desempenho durante exercício de alta intensidade de carga constante até a exaustão (MARCORA et al 2009). Recentemente, Brownsberger et al. (2013) realizaram estudo com o objetivo de verificar os efeitos da tarefa cognitiva prolongada sobre a intensidade de exercício selecionada. Esses autores demonstraram que a intensidade selecionada foi significativamente reduzida após tarefa cognitiva quando comparado com a condição controle, e essa redução na intensidade selecionada seria em decorrência de maior PSE. Porém, a influência da tarefa cognitiva sobre a estratégia de prova não foi avaliada, uma vez que no estudo de Brownsberger e colaboradores (2013) os participantes tinham que manter a intensidade referente a PSE de 13 e 15 na escala de Borg (1982). No entanto, estudos mais recentes avaliaram os efeitos da tarefa cognitiva sobre a estratégia de prova (PAGEAUX et al. 2014; MARTIN et al. 2015). Porém, esses estudos apresentam importantes limitações como a realização de exercício em esteira (PAGEAUX et al. 2014), onde os participantes não regulam a velocidade a cada passada como em competições, e a realização de estratégia de prova imposta pelos pesquisadores (MARTIN et al. 2015). Sendo assim, nenhum estudo até o presente momento avaliou a influência do teste cognitivo de longa duração sobre a estratégia de prova em condição na qual o indivíduo tem como objetivo realizar determinada distância no menor tempo possível e são livres para alterar a intensidade de forma aproximada ao que ocorre em competição.

Nesse sentido, parece necessário que novas investigações sejam conduzidas no intuito de elucidar as contribuições dos componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular na estratégia de prova adotada pelos atletas. A utilização de tarefa cognitiva e de exercícios prévios com diferentes características poderia ser

incorporada na abordagem experimental de estudos que objetivam investigar as contribuições do SNC e periférico na estratégia de prova. Baseado nos estudos supracitados, nossa hipótese foi que a estratégia de prova adotada seria alterada após tarefa cognitiva e de exercícios prévios com diferentes características. Especificamente, após tarefa cognitiva e exercício prévio de membros superiores a estratégia de prova seria modificada por alterações no SNC, ao passo que após a realização de exercício prévio de membros inferiores esta seria alterada por fatores intramusculares.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral foi analisar a execução prévia de exercício físico e cognitivo sobre os componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular durante teste contrarrelógio de 4 km de ciclismo. Para tanto, a presente tese foi composta por três estudos, os quais tiveram os objetivos específicos descritos abaixo.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos dos três estudos que compuseram a presente Tese foram:

1.1.2.1 Estudo 1:

- Verificar a influência da fadiga mental sobre componentes centrais da fadiga neuromuscular.
- Avaliar a influência da fadiga mental sobre a percepção subjetiva de esforço (PSE) durante o teste contrarrelógio de média duração.

1.1.2.2 Estudo 2:

- Verificar a influência do dano muscular sobre componentes centrais da fadiga neuromuscular.

- Analisar a influência do dano muscular sobre componentes periféricos da fadiga neuromuscular.
- Verificar a influência do dano muscular sobre a percepção subjetiva de esforço (PSE) durante o teste contrarrelógio de média duração.
- Avaliar relação entre marcadores inflamatórios e a estratégia de prova.

1.1.2.3 Estudo 3:

- Avaliar a influência da fadiga prévia de grupamento muscular envolvido e não envolvidos no teste de 4 km de ciclismo sobre componentes centrais da fadiga neuromuscular.
- Analisar os efeitos da fadiga prévia de grupamento muscular envolvido e não envolvidos no teste de 4 km de ciclismo sobre componentes periféricos da fadiga neuromuscular.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Ao longo de muitos anos, os cientistas do esporte têm utilizado o exercício de carga constante até exaustão para mensurar alterações metabólicas durante a realização do exercício e principalmente para avaliar o desempenho. Entretanto, exercícios desse tipo tem apresentado maior coeficiente de variação (LAURSEN et al. 2007; JEUKENDRUP et al. 1996) e menor validade ecológica (ATKINSON et al. 2007) em comparação aos exercícios contrarrelógio. Nesse último tipo de exercício, os atletas têm como objetivo realizar maior distância em tempo fixo ou percorrer determinada distância pré-estabelecida no menor tempo possível. É importante destacar que durante a realização de exercícios do tipo contrarrelógio, os atletas são livres para alterar a intensidade de esforço ao longo da prova. A maneira pela qual os atletas distribuem a velocidade e/ou produção de potência ao longo da prova com intuito de melhorar o desempenho ao máximo tem sido definida como estratégia de prova.

Estudos prévios têm reportado grande variedade de estratégias de prova adotada por atletas das mais diversas modalidades e durante eventos de diferentes distâncias (ABISS e LAURSEN, 2008). Todavia, um ponto que tem causado bastante discussão entre pesquisadores é acerca dos mecanismos de regulação da estratégia

de prova durante eventos de curta, média e longa duração. Na tentativa de explicar como os atletas regulam a estratégia de prova durante o contrarrelógio, uma série de modelos teóricos têm sido proposto pela literatura. Nesses modelos, uma grande variedade de fatores internos e externos tem sido apontada como importantes para regulação da estratégia de prova durante competições. Nesse sentido, estudos têm analisado a influência de diversas variáveis, tais como a temperatura ambiente (TUCKER et al 2004), reservas de glicogênio muscular (LIMA-SILVA et al 2013), uso de suplementos (SANTOS et al 2013), nível treinamento (LIMA-SILVA et al 2010), entre outros. Dessa forma, a presente revisão descreverá a seguir as diferentes estratégias de prova reportadas na literatura. Além disso, os principais modelos propondo quais são os mecanismos envolvidos na regulação da estratégia de prova também foram abordados na presente revisão.

2.1 TIPOS DE ESTRATÉGIA DE PROVA

2.1.1 ESTRATÉGIA DE PROVA NEGATIVA

Esse tipo de estratégia de prova é caracterizado por gradativo aumento da intensidade ao longo da prova (Figura 1). De acordo com Abiss e Laursen (2008), a estratégia de prova negativa é comumente evidenciada durante eventos de longa duração. Acredita-se que a adoção desse tipo de estratégia de prova se deve ao fato de evitar maior desgaste físico em decorrência do acúmulo de metabólitos relacionados à fadiga e maior degradação de glicogênio muscular nas fases iniciais da prova. Desse modo, os atletas poupariam suas reservas energéticas para os pontos críticos da prova como, por exemplo, disputa pelo pódio com o seu adversário próximo à chegada da prova.

Figura 1. Exemplo de estratégia de prova negativa.

De fato, em estudo realizado por Mattern e colaboradores (2001) foi demonstrado menor estresse metabólico durante 20 km de ciclismo utilizando-se estratégia de prova negativa. Nesse estudo, os pesquisadores solicitaram aos ciclistas que realizassem os primeiros 4 minutos dos 20 km de ciclismo em intensidade correspondente a 15% abaixo, 15% acima e na mesma média de potência produzida durante o total de 20 km de ciclismo realizado previamente pelos mesmos atletas. Logo após os 4 minutos de intensidade fixa os atletas foram liberados para alterar a intensidade. Os autores constataram que o acúmulo de lactato sanguíneo foi atenuado até o nono minuto quando os atletas realizaram estratégia de prova negativa (15% abaixo da potência média nos 20 km de ciclismo) quando comparado com as outras condições. Dessa forma, os resultados do estudo realizado por Mattern et al. (2001) dão suporte à ideia de que a estratégia de prova negativa pode ser favorável em determinadas competições por induzir menor acúmulo de metabólito nas fases iniciais da prova, resultando em menor estresse metabólico e, consequentemente, menor desgaste físico. É importante destacar que eventos esportivos com característica de estratégia de prova negativa têm demanda energética crescente ao longo da prova. Sendo assim, poupar as reservas energéticas durante as fases iniciais da prova pode ser primordial para o desempenho dos atletas durante esses eventos.

2.1.2 ESTRATÉGIA DE PROVA POSITIVA

A estratégia de prova positiva apresenta redução gradual da intensidade ao longo da prova (Figura 2). Como se pode presumir, esse tipo de estratégia de prova é adotado em provas de curta duração. Diferentemente da estratégia de prova negativa, nesse tipo de estratégia de prova, existe acúmulo elevado de metabólitos logo na fase inicial da prova (SANDALS et al 2006; THOMPSON et al 2003). De acordo com os achados de Thompson e colaboradores (2003), os nadadores apresentam maior acúmulo de lactato e percepção de esforço após a realização de 200 m de natação com estratégia de prova positiva em comparação com a estratégia de prova constante (descrito a seguir). Porém, devido às provas em que os atletas adotam este tipo de estratégia de prova serem de curta duração, o elevado acúmulo de metabólitos relacionados à fadiga parece não prejudicar o desempenho durante esse tipo de tarefa. Além disso, uma perda de tempo durante a fase inicial destas provas parece não ser recuperado posteriormente devido à sua curta duração.

Durante provas de curta duração realizadas no meio aquático existe um fator adicional que é a resistência imposta pelo meio líquido, principalmente, durante o início da prova. Desse modo, os atletas de provas curtas em modalidades esportivas como natação (THOMPSON et al 2000) e remo (GARLAND, 2005), por exemplo, adotam frequentemente estratégia de prova positiva. Adicionalmente, tem sido reportado que corredores de elite de provas de 800 m também adotam estratégia de prova positiva (SANDALS et al 2006). No caso do remo, esta modalidade apresenta característica diferente da demais na qual os atletas se posicionam de costas para linha de chegada da prova. Sendo assim, os remadores frequentemente adotam estratégia de prova que consiste de saída rápida para que possam manter os adversários no campo de visão no decorrer da prova.

Figura 2. Exemplo de estratégia de prova positiva.

Durante eventos considerados de curtíssima duração os atletas também adotam estratégia positiva (ABISS & LAURSEN, 2008). No entanto, nesse tipo de prova os atletas realizam uma saída na maior intensidade possível (*all-out*) e tentam sustentá-la ao máximo até o ponto final da prova. Essa estratégia de prova é típica da clássica prova de 100 m rasos do atletismo. Essa estratégia de prova promove severo acúmulo de metabólitos. Entretanto, esse início em máxima intensidade torna-se necessário devido à fase de aceleração corresponder à grande parte do total da prova.

2.1.3 ESTRATÉGIA DE PROVA CONSTANTE

Da mesma forma que a estratégia de prova negativa, a estratégia de prova constante tem sido adotada por atletas durante provas prolongadas. Como o nome sugere, nesse tipo de estratégia os atletas realizam pouca variação na intensidade ao longo da prova (Figura 3). Durante 1 hora de ciclismo contrarrelógio, na qual os ciclistas têm como objetivo percorrer a maior distância possível durante 1 hora, Padilla e colaboradores (2000) demonstraram que os ciclistas adotam uma estratégia de prova

constante. Durante esta competição os ciclistas mantêm altas intensidades por longo período de tempo com pouca variação ao longo da prova.

Figura 3. Exemplo de estratégia de prova constante.

2.1.4 ESTRATÉGIA DE PROVA VARIÁVEL

Durante os eventos esportivos realizados na natureza é comum os atletas encontrarem terrenos que apresentam irregularidades ao longo do seu percurso como, por exemplo, trechos alternando entre subidas e descidas. Isso pode ocorrer em modalidades como corridas de aventura e corridas de montanha, nas quais frequentemente os atletas encontram terrenos acidentados. Devido a esses fatores externos, a estratégia de prova variável tem sido sugerida. Essa estratégia de prova consiste em pequenas variações da intensidade ($\pm 5\%$) ao longo de toda prova com intuito de compensar o desgaste físico sofrido nos trechos de subida (Figura 4). Além disso, aumento da potência nos trechos de subida e redução nos trechos de descida resultariam em velocidade relativamente constante ao longo da prova e no aumento do desempenho (SWAIN, 1997).

Figura 4. Exemplo de estratégia de prova variável.

2.1.5 ESTRATÉGIA DE PROVA PARABÓLICA

A estratégia de prova parabólica é caracterizada por uma fase inicial rápida seguida por gradual declínio na intensidade na fase intermediária da prova e por fim aumento da intensidade na fase final da prova (Figura 5).

Figura 5. Exemplo de estratégia de prova parabólica.

A estratégia de prova parabólica tem sido uma das mais evidenciadas durante pesquisas realizadas em laboratório (SILVA-CAVALCANTE et al 2013; AMANN et al 2008). Entretanto, a estratégia de prova parabólica também tem sido demonstrada em provas oficiais. De fato, um interessante estudo realizado por Tucker et al. (2006) avaliou a estratégia de prova adaptada durante 34 recordes mundiais de corredores na prova 10 km. Esses autores demonstraram que o tempo para realização dos primeiros 2 km era significativamente menor quando comparado com o trecho intermediário (3-9 km) da prova. Em adição, o tempo para percorrer o último km da prova foi significativamente menor em relação aos quilômetros anteriores. Desse modo, a estratégia de prova observada foi em forma de “J”. Em outras palavras, a estratégia de prova realizada pelos corredores recordistas mundial foi caracterizada por uma saída rápida seguida por declínio da velocidade na parte média da prova e por maiores velocidades na parte final da prova em relação aos trechos inicial e intermediário dos 10 km de corrida.

2.2 ESTRATÉGIA DE PROVA E DESEMPENHO

Apesar de o primeiro estudo ter sido realizado no final da década de 50 (Robinson et al. 1958), a estratégia de prova é um tema relativamente recente na área de ciências do esporte e tem despertado o interesse de diversos pesquisadores, como pode ser constatado pelo número crescente de estudos realizados nos últimos anos acerca do tema (HETTINGA et al. 2006, 2007; ASBETT et al. 2009ab; LIMA-SILVA et al. 2010). O primeiro estudo a avaliar de forma sistemática a influência da estratégia de prova sobre o desempenho foi realizado por Robinson e colaboradores no ano de 1958. Nesse estudo, os autores concluíram que para realizar uma prova de corrida de média duração no menor tempo possível, os atletas deveriam adotar menor velocidade na primeira parte e aumentar a velocidade na última parte da prova. De acordo com esses autores, essa estratégia de prova seria ótima por atrasar possíveis mudanças súbitas no estado fisiológico, evitando a instalação precoce da fadiga antes do ponto final da prova.

A estratégia de prova ótima tem sido sugerida, principalmente, de acordo com a duração da prova. Em provas de média duração, especificamente, estudos têm testado os efeitos de diferentes estratégias de prova sobre o desempenho. Hettinga

et al. (2006) verificaram o efeito de três diferentes estratégias de prova (velocidades em % da potência média da prova) sobre o desempenho em ciclismo contrarrelógio de 4000 m. Os participantes do estudo realizaram os primeiros 2000 m adotando saída supra (105%), sub (95%) e constante (100%). Porém, Hettinga e colaboradores não evidenciaram diferença significativa no desempenho entre as estratégias de prova. Por outro lado, Aisbett et al (2009a) constataram que após induzir uma saída rápida mais curta (25% da prova) durante 5 min de ciclismo contrarrelógio, o desempenho foi maior quando comparado à condição com saída lenta e constante.

Em estudo posterior, Aisbett et al (2009b) demonstraram que a estratégia de prova *all-out* (máxima intensidade) melhorou o desempenho em comparação com a saída rápida. Os diferentes achados entre os estudos realizados por Hettinga et al (2006) e Aisbett (2009a) se deve, provavelmente, às diferentes metodologias empregadas nos estudos. Enquanto Hettinga e colaboradores (2006) induziram estratégia de prova forçada até a metade da prova, Aisbett et al (2009a) induziram até o primeiro quarto da prova. Dessa forma, no estudo realizado por Hettinga et al. (2006), a metodologia adotada pode ter resultado em grandes alterações metabólicas na primeira metade da prova, prejudicando o desempenho na segunda metade da prova. Isso levanta uma questão prática importante, pois até o presente momento nenhum estudo avaliou até que ponto a estratégia de prova, durante a parte inicial da prova, pode ser alterada sem que o desempenho total em prova seja prejudicado.

A melhora no desempenho encontrada por Aisbett et al (2009a,b), corrobora com os achados de Bishop e colaboradores (2002). Após induzir diferentes tipos de estratégia de prova durante o início de 2 min contrarrelógio de caiaque, os autores demonstraram que o desempenho foi melhorado na condição com saída *all-out* comparado com a condição com saída constante. A melhora no desempenho foi atribuída ao aumento da cinética rápida do consumo de oxigênio em decorrência de maior taxa de degradação de fosfocreatina com estratégia de prova *all-out*.

Swain (1997) propôs, por meio de equação, um benefício para desempenho total quando os atletas aumentam a intensidade em trechos de subida ou contra o vento frontal e reduzem a intensidade durante os trechos de descida ou com vento de cauda. Baseado nesta afirmação, Atkinson e Brunskill (2000) realizaram estudo simulando variações no vento frontal e de cauda durante 16,1 km de ciclismo realizado

em ciclossimulador. Na primeira metade os 16,1 km de ciclismo contrarrelógio foi aplicada uma simulação de vento frontal, ao passo que uma simulação de vento de cauda foi realizada na segunda metade da prova. Em seguida os autores testaram os efeitos da estratégia de prova constante e variada. Em uma das condições os atletas foram orientados a manterem a velocidade constante, média dos 16,1 km de ciclismo previamente realizado, enquanto na outra condição os atletas realizaram a primeira metade da prova (vento frontal) com velocidade 5% acima e a segunda metade da prova (vento de cauda) com a velocidade 5% abaixo da média dos 16,1 km de ciclismo previamente realizado. Houve melhora significativa no desempenho quando os atletas adotaram estratégia de prova variada em comparação com estratégia constante. Os autores sugeriram que a melhora do desempenho com a estratégia de prova variada se deve ao menor estresse fisiológico e menor sensação de esforço devido a menor produção de lactato e PSE reportada pelos atletas.

2.3 MECANISMO DE REGULAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PROVA

A discussão acerca dos mecanismos envolvidos na regulação da estratégia de prova tem aumentado na literatura. Vários pesquisadores têm proposto os mais diversos modelos na tentativa de responder quais são as variáveis que influenciam e como o indivíduo percebe alterações nessas variáveis, que por sua vez resulta na alteração da distribuição de potência e/ou velocidade ao longo de uma prova. Dessa forma, nesta sessão serão abordados os principais modelos proposto na literatura acerca dos mecanismos de regulação da estratégia de prova e os estudos que dão suporte a esses modelos.

2.3.1 MODELO DE SISTEMA CONTROLADOR EXTRAMUSCULAR E TELEANTECIPAÇÃO

O primeiro modelo proposto na literatura com objetivo de explicar os mecanismos envolvidos na regulação da intensidade durante testes contrarrelógio foi apresentado à comunidade científica em 1996 por Ulmer. De acordo com esse autor, um sistema de controle extramuscular, localizado no SNC, seria o responsável pela regulação da taxa metabólica muscular durante o exercício por meio de *feedbacks*

provenientes de várias partes do corpo. Além disso, esse sistema de controle extramuscular regularia a intensidade através do controle de sinais eferentes para o músculo. Na tentativa de testar esse modelo, Ulmer (1996) realizou uma série de experimentos durante os quais ele orientou atletas de diferentes modalidades a se exercitarem em percepção de esforço fixa (8, 13, 18 e máxima PSE) durante exercícios com diferentes durações. O autor constatou que a distribuição da intensidade ao longo dos testes foi baseada na PSE pré-estabelecida e na duração da tarefa. Durante tarefas curtas houve declínio na intensidade sem a existência de platô ou *sprint* final, ao passo que durante tarefas mais longas os atletas adotaram intensidade mais constante seguida por *sprint* final. Baseado nesses achados, Ulmer concluiu que a PSE seria parte de um sistema de *feedback* para otimizar o desempenho e a taxa metabólica muscular. Adicionalmente, o autor sugere que a regulação da intensidade acontece levando-se em consideração as reservas energéticas, a atual taxa metabólica e o tempo requerido para finalizar a tarefa. Por fim, um modelo de teleantecipação é sugerido para evitar a exaustão antes do ponto final da prova.

De acordo com estudos recentes encontrados na literatura, o modelo de teleantecipação regula de forma antecipada a estratégia de prova com base em fatores internos e externos. Em estudo realizado por Tucker et al (2004), em condição de calor, foi constatado que os participantes do estudo adotaram estratégia de prova mais conservadora desde o início dos 20 km de ciclismo contrarrelógio. Entretanto, a PSE apresentou comportamento similar entre as condições não foi significativamente diferente durante o exercício com calor quando comparado com a condição controle. Segundo os autores, o comportamento similar da PSE entre as condições ocorreu devido à menor intensidade durante os 20 km de ciclismo na condição com calor que teria como objetivo manter a mesma taxa de aumento da PSE da condição controle. Desse modo, a PSE máxima só seria atingida ao final da prova, evitando a interrupção prematura do exercício.

2.3.2 GOVERNADOR CENTRAL

O modelo de governador central foi proposto posteriormente pelo grupo da África do Sul liderado professor Timothy Noakes. Além de propor que a estratégia de

prova é regulada por meio de *feedbacks* aferentes e sinais de *feedforward*, esses pesquisadores expandiram o modelo proposto por Ulmer sugerindo que a regulação da estratégia de prova acontece com o objetivo de manter uma reserva e age como um mecanismo de proteção do corpo para evitar uma falha fisiológica. De fato, St Clair Gibson e colaboradores (2006) sugerem que a estratégia de prova é continuamente regulada pelo cérebro durante o exercício. Segundo esses autores, *feedbacks* sensoriais periféricos seriam processados no cérebro, que por sua vez aumentaria ou reduziria a intensidade do exercício de acordo com a magnitude das alterações metabólicas ocorrida no sistema periférico com intuito de evitar uma catástrofe metabólica.

Nesse sentido, St Clair Gibson et al. (2001) avaliaram a atividade eletromiográfica do músculo reto femoral durante a realização de 100 km ciclismo que incluía a realização de 5 testes contrarrelógio de 1 km (nos quilômetros 10, 32, 52, 72 e 99) e 4 testes contrarrelógio (nos quilômetros 20, 40, 60 e 80). Após a realização dos 100 km de ciclismo, os autores observaram declínio paralelo na potência e atividade eletromiográfica ao longo dos testes contrarrelógio de 1 km e 4km. Os autores concluem esses achados sugerem a existência de um mecanismo de proteção para que não ocorra danos ao organismo e fadiga prematura antes do ponto final da tarefa.

Em relação a influência de fatores externos sobre a estratégia de prova, Tucker et al (2004) demonstraram que durante a realização de 20 km de ciclismo na condição de calor (35°C), os atletas apresentaram redução significativa na produção de potência e atividade eletromiográfica dos músculos do quadríceps, enquanto a temperatura central, frequência cardíaca e PSE permaneceram similares entre as condições calor (35°C) e frio (18°C). Segundo os autores, esses ajustes na intensidade do exercício seriam realizados pelo SNC com o objetivo de evitar uma catástrofe metabólica podendo resultar em danos ao organismo.

2.3.3. LIMAR CRÍTICO INDIVIDUAL DE FADIGA PERIFÉRICA (LCIFP)

Em acordo com a ideia da existência de um ponto crítico que nunca é ultrapassado sob condições normais para proteger o organismo, Amann (2011) tem

proposto um modelo conhecido como limiar crítico individual de fadiga periférica. Segundo esse modelo, a intensidade do exercício seria regulada pelo SNC, a partir de alterações metabólicas no músculo esquelético, de modo a atingir esse limiar crítico individual de fadiga periférica apenas no final dos testes contrarrelógio para que os atletas não parem antes do ponto final da tarefa.

A existência de um limiar crítico individual de fadiga periférica tem sido suportada por uma série de estudos realizados por Amann et al (2008, 2009, 2011). Após o bloqueio dos nervos aferentes por meio de fármaco (fenantil), Amann e colaboradores (2009) constataram que os indivíduos realizaram maior intensidade na parte inicial dos 5 km de ciclismo contrarrelógio. Em adição, a atividade eletromiográfica do músculo vasto lateral foi maior com o bloqueio em comparação com a condição sem bloqueio também na parte inicial da prova, sugerindo que o comando motor central foi aumentado nesta condição. Interessantemente, os sujeitos apresentaram grau de fadiga periférica após os 5 km de ciclismo contrarrelógio significativamente maior com o bloqueio. Segundo os autores, isso ocorreu devido à não detecção pelo SNC das alterações metabólicas ocorridas dentro dos músculos exercitados devido à falta de *feedbacks* aferentes causada pelo bloqueio farmacológico. Ainda de acordo com os autores, alguns atletas necessitaram de ajuda para sair do cicloergômetro e o severo nível de fadiga periférica resultou em problemas hospitalares. Em conjunto, esses resultados apontam a existência de um mecanismo protetor do organismo, localizado no SNC e regulado por vias aferentes, que atua para que o exercício seja interrompido antes da ocorrência de severas alterações metabólicas periféricas. Além disso, diferentemente do proposto por Noakes no modelo de governador central, esses resultados sugerem que o uso de fármaco é capaz de fazer com que os indivíduos ultrapassem o limite crítico sem a ocorrência de danos irreversíveis ao organismo. Adicionalmente, o modelo proposto por Amann baseia-se na regulação da intensidade pelo SNC por meio apenas de alterações ocorridas no músculo esquelético, ao passo que no modelo de governador central fatores externo exercem influência sobre a regulação da estratégia de prova.

Em outro estudo realizado por Amann et al. (2008), foi testada a hipótese de que a estratégia de prova seria regulada para atingir o mesmo limiar crítico individual

de fadiga periférica apenas no final dos 5 km de ciclismo contrarrelógio. Para isso, os autores induziram diferentes níveis de fadiga periférica por meio de exercícios de cargas constantes realizados antes da realização dos testes contrarrelógio. Especificamente, em uma das condições, os ciclistas pedalarão até a exaustão (~10 min) em carga constante equivalente a 83%PO_{máx}. Em outra ocasião, os ciclistas pedalarão durante aproximadamente 10 min em carga constante equivalente a 67%PO_{máx}. Por fim, os atletas não realizaram nenhum tipo de exercício antes da realização dos 5 km de ciclismo contrarrelógio (condição controle). Como esperado, durante a condição com maior nível de fadiga periférica (após 83%PO_{máx}) os ciclistas adotaram estratégia de prova mais conservadora quando comparada às condições controle e com menor nível de fadiga periférica (após 67%PO_{máx}), ao passo que a estratégia de prova após 67%PO_{máx} foi mais conservadora quando comparada à condição controle. Embora os atletas tenham adotado diferentes estratégias de prova durante os 5 km de ciclismo contrarrelógio, o nível de fadiga periférica após a realização do teste contrarrelógio foi similar entre as condições. De acordo com os autores, esses achados confirmam a hipótese de que a estratégia de prova é regulada por meio de *feedbacks* aferentes provenientes das alterações metabólicas ocorridas dentro do músculo durante a realização do exercício. No entanto, Froyd e colaboradores (2016) evidenciaram que durante a realização de contrações concêntricas máximas com diferentes durações (3, 10 e 40 min) o comportamento do grau de fadiga periférica difere no decorrer do tempo entre as condições. Durante a condição envolvendo 3 min de contrações ocorre aumento progressivo da fadiga periférica durante todo teste. Porém, os autores demonstraram progressivo aumento da fadiga periférica nas condições 10 e 40 min após início do exercício, estabilização do nível de fadiga na parte média do exercício e aumento do grau de fadiga periférica no trecho final. Interessantemente, maior grau de fadiga periférica no último trecho nas condições 3, 10 e 40 min foi acompanhado por maior produção de força e recrutamento muscular, sugerindo que o limiar de fadiga periférica parece não ser capaz de inibir a produção de força.

Porém, recentemente a existência do limiar crítico individual de fadiga periférica tem sido questionada. Thomas et al. (2015) avaliaram, por meio de estimulação elétrica aplicada no nervo femoral e estimulação magnética transcraniana, o nível de fadiga periférica durante testes contrarrelógio com diferentes distâncias (4, 20 e 40 km

de ciclismo contrarrelógio). Os autores constataram que os ciclistas apresentaram maior grau de fadiga periférica (40%) após 4 km de ciclismo contrarrelógio em comparação com 20 e 40 km (31 e 29%, respectivamente). Adicionalmente, Froyd et al (2016) demonstraram que os participantes do estudo apresentaram maior grau de fadiga periférica em 40 min contrações concêntricas máximas comparado com a condição 3 min. Coletivamente, os resultados desses estudos sugerem que o modelo de limiar crítico individual de fadiga periférica não se aplica durante a realização de exercícios com diferentes durações e intensidades, uma vez que o mesmo nível de fadiga periférica, como proposto no modelo, não foi constatado.

No que se refere às alterações no comando motor central atuando no controle da intensidade durante os testes contrarrelógio, alguns estudos têm apresentado evidências de que a estratégia de prova não seria regulada pelo SNC, mas por alterações ocorridas no próprio músculo (modelo periférico). Desse modo, uma redução na intensidade durante o exercício seria devido ao acúmulo de metabólitos, que por sua vez prejudicaria a contração muscular. Hettinga et al (2006) demonstraram que, embora a estratégia de prova durante 4 km de ciclismo tenha sido diferente nas condições supra, sub e constante (105, 95 e 100% da velocidade média da prova, respectivamente, durante os primeiros 2 km), não houve diferença significativa na atividade eletromiográfica dos músculos vasto lateral e reto femoral. Dessa forma, esses resultados sugerem que a estratégia de prova é regulada por alterações metabólicas ocorridas no próprio músculo durante a realização do exercício. No entanto, esta afirmação tem que ser vista com cautela, uma vez que a atividade eletromiográfica apresenta limitações em relação à sua utilização como medida do comando motor.

2.3.4 MODELO PSICOBIOLOGICO

O modelo psicobiológico tem sido proposto por Marcora et al. (2010), no qual a estratégia de prova seria regulada principalmente por meio da PSE (PERGEAUX et al. 2014b). Diferentemente dos modelos previamente descritos, a PSE seria gerada de forma independente de *feedbacks* aferentes durante o exercício, sendo formada através da intensidade do comando motor central para os músculos durante o exercício. Ainda de acordo com o modelo psicobiológico, a estratégia de prova é

regulada de forma consciente com base na motivação e determinada por cinco fatores cognitivos / emocionais (MARCORA, 2010):

1. Percepção de esforço;
2. Motivação potencial;
3. Conhecimento da distância da tarefa;
4. Conhecimento da distância restante da tarefa;
5. Prévia experiência / memória da percepção de esforço durante exercício.

Estudo realizado por Marcora et al (2009), indivíduos saudáveis foram submetidos a tarefa cognitiva durante 90 min para indução de fadiga mental. Em seguida foi realizado teste de carga constante até a exaustão em intensidade correspondente a 80%PO_{máx}. Marcora e colaboradores (2009) demonstraram por meio desse estudo que o tempo para exaustão foi significativamente menor durante o exercício realizado após a tarefa cognitiva quando comparado à condição controle. Além disso, os indivíduos apresentaram maior PSE durante o teste com fadiga mental. A partir desses achados, os autores concluíram que o desempenho pode ser prejudicado independentemente de alterações metabólicas ocorridas no músculo esquelético durante a realização do exercício.

Entretanto, apenas mais recentemente este modelo tem sido testado durante exercício de intensidade variada. Morree e Marcora (2013) avaliaram o efeito da fadiga prévia dos músculos locomotores sobre a estratégia de prova durante 15 min de ciclismo contrarrelógio. Levando-se em consideração que a fadiga dos músculos locomotores induzida por *drop jumps* promove aumento na PSE sem alterações metabólicas e, conseqüentemente, sem o aumento dos *feedbacks* aferentes, os autores sugeriram que a estratégia de prova seria alterada em decorrência apenas da maior PSE durante o teste contrarrelógio. Os autores encontraram significativa redução no desempenho (4,8%), acompanhada por maior PSE durante os três primeiros minutos na condição com fadiga quando comparado com a condição controle. Em adição, a estratégia de prova adotada após a fadiga foi mais conservadora. De acordo com os autores, a estratégia de prova mais conservadora

foi adotada para compensar a maior PSE após fadiga prévia dos membros inferiores. Entretanto, embora esses autores afirmem que o tipo de exercício utilizado não promove significantes alterações metabólicas periféricas, os mesmos músculos envolvidos na tarefa subsequente foram submetidos à fadiga prévia. Sendo assim, a realização de mais estudos avaliando os efeitos da fadiga prévia de músculos não envolvidos na tarefa subsequente sobre a PSE e estratégia de prova torna-se necessário.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A sessão de materiais e métodos foi estruturada apresentando os procedimentos que eram distintos (desenho experimental, tarefa cognitiva, protocolo de *drop jump*, fadiga prévia de membros superiores e análises estatística) ou idênticos (amostra, antropometria, teste progressivo máximo, familiarização e teste 4 km de ciclismo contrarrelógio, protocolo de estimulação elétrica e análise dos dados da estimulação elétrica) aos 3 estudos.

3.1 AMOSTRA

O tamanho amostral do presente estudo foi determinado por meio da equação proposta por Hopkins (2000). O coeficiente de variação assumido para um teste contrarrelógio de 4 km foi de 0,9% (STONE et al. 2011). Considerando uma detecção de diferença muito conservadora de 1% como estatisticamente significativa, a amostra mínima requerida para o presente estudo é de 7 participantes. Considerando alguma perda amostral, foram recrutados 11 ciclistas amadores do sexo masculino para participar deste estudo. No entanto, 3 ciclistas desistiram de participar do presente estudo. Desse modo, a amostra dos estudos 1, 2 e 3 foi composta por 8 ciclistas (Idade: $33,8 \pm 7,2$ anos; Massa corporal: $75,9 \pm 12$ kg; Estatura: 179 ± 10 cm; percentual de gordura: $13,9 \pm 5,5$). Os participantes foram informados de todos os procedimentos e possíveis riscos da pesquisa antes do estudo. Em seguida, os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, devidamente aprovado pelo Comitê de Ética para estudos com humanos da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (ANEXO I).

3.2 TESTE PROGRESSIVO MÁXIMO

Os sujeitos pedalarão em um ciclossimulador (RacerMate Computrainer, Seattle, Washington, EUA) a 150W durante cinco minutos para aquecimento. Após esse período, foram aplicados incrementos de 30W a cada minuto até a exaustão, mantendo cadência de pedalada entre 80 e 90 rotações por minuto (rpm) até o final do teste. O teste foi interrompido quando os participantes não conseguiram manter a cadência de pedalada dentro desse intervalo por três avisos consecutivos feitos pelo pesquisador. Durante todo o teste, medidas de respiração e consumo de oxigênio (VO_2), dióxido de carbono (VCO_2) e volume ventilatório (VE) foram obtidas através de analisador automático de trocas gasosas (Cortex Metalyzer 3B, Cortex Biophysik, Leipzig, Germany). Antes de cada teste, os sensores de fração de O_2 e CO_2 expirado foram calibrados usando cilindro com uma concentração conhecida de O_2 (12%) e CO_2 (5%). O volume de ar expirado foi calibrado utilizando seringa contendo três litros de ar.

O primeiro limiar ventilatório (LV_1) foi identificado na intensidade em que o VE/VO_2 apresentou seu menor ponto antes de aumento abrupto. O segundo limiar ventilatório (LV_2) na intensidade anterior ao aumento abrupto em VE/VCO_2 (McLELLAN, 1985). A identificação foi feita meio da análise visual dos gráficos. A frequência cardíaca máxima ($\text{FC}_{\text{máx}}$) foi definida como o maior valor obtido no último estágio do teste. O $\text{VO}_{2\text{max}}$ foi definido como o valor médio dos últimos 30s do teste incremental. A $\text{PO}_{\text{máx}}$ foi determinada como a maior carga que os ciclistas sustentaram durante todo o último estágio (período de um minuto). Quando a carga não foi sustentada durante todo o estágio, a $\text{PO}_{\text{máx}}$ foi calculada através da equação 1 (KIUPERS et al. 1985):

$$\text{PO}_{\text{máx}} = W_c + [(t/60) \times 30] \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: W_c é o valor da carga do último estágio completado, t é o tempo (s) em que os ciclistas permanecerão no estágio incompleto, 60 é a duração (s) de cada estágio e 30 é o incremento de potência entre os estágios.

3.3 TESTE DE FAMILIARIZAÇÃO

Os participantes realizaram três testes de familiarização, um após o teste progressivo máximo e mais dois testes em dias distintos, separados por no mínimo 48h, para se adaptarem ao ciclossimulador e procedimentos adotados durante os testes de 4 km de ciclismo contrarrelógio (STONE et al. 2011). Os atletas foram informados para realizar o teste no menor tempo possível e permanecerem sentados na bicicleta durante todo teste. Os atletas foram livres para alterar a marcha e a cadência de pedalada durante todo teste contrarrelógio. Durante a realização dos testes contrarrelógio a distância percorrida foi fornecida para os ciclistas de forma contínua por meio de um notebook.

3.4 4 KM DE CICLISMO CONTRARRELÓGIO

Primeiramente, os participantes realizaram um aquecimento com cinco minutos de duração em intensidade correspondente a 150 W, mantendo a cadência de pedalada de aproximadamente 90 rpm. Em seguida foi iniciado o teste de 4 km contrarrelógio. Durante os testes foram realizados os mesmos procedimentos adotados no teste de familiarização, no entanto, as variáveis de VO_2 , FC e PSE (BORG, 1982) foram mensuradas e convertidas em média a cada 500 m. A produção de potência (PO) foi mensurada com frequência de 1 Hz e a média a cada 400 m foi calculada.

3.5 PROTOCOLO DE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA

A estimulação elétrica transcutânea foi realizada por meio de um estimulador de voltagem constante (Neuro-TES, Neurosoft, Ivanovo, Rússia). O local de estímulo, confirmado pela "máxima" onda M, foi identificado por meio de uma caneta de estímulo que foi movida ao longo da região do triângulo femoral. O exato local de estímulo foi marcado utilizando plástico transparente e caneta para reprodução dos estímulos nas sessões seguintes. O nervo femoral foi estimulado utilizando um eletrodo catodo monopolar de superfície (10 mm de diâmetro) fixado no triângulo femoral. O eletrodo anodo monopolar de superfície (10 mm de diâmetro) foi fixado na prega glútea oposta do eletrodo catodo. Estímulos únicos (1 Hz) foram aplicados a cada 30 segundos em

intensidade inicial correspondente à 10% (100 volts) da intensidade máxima do estimulador (1000 volts) seguido por incrementos de 3% (30 volts) para identificação da intensidade ótima de estímulo. A intensidade de estimulação foi identificada no momento em que não ocorreu aumento da amplitude da força e da amplitude da onda M com o aumento da intensidade de estimulação. Em seguida, foi realizado aumento de 20% para assegurar que a intensidade de estimulação utilizada foi suficiente para recrutar o máximo de unidades motoras (NEYROUD et al. 2013). Os estímulos tiveram duração de 80 μ s.

A força dos músculos do quadríceps da perna direita, com o joelho em um ângulo de 90° (com a extensão total sendo considerada 0°) e com o quadril em 130°, foi mensurada através de uma célula de carga (SML – 500, Interface, Scottsdale, EUA) acoplada a uma cadeira extensora. Nas contrações voluntárias máximas (CVIM), os participantes foram orientados a atingir a força máxima o mais rápido possível e mantê-la o máximo de tempo possível. Durante todo o teste, os ciclistas receberam encorajamento verbal (DECORTE et al. 2012). Durante a realização da CVIM, *feedback* visual da força foi dado aos participantes do estudo. A CVIM foi determinada como a tentativa de maior pico de força.

O protocolo de estimulação consistiu de um estímulo único (1 Hz) aplicado sobre o platô da força. Após a CVIM, estímulos (potencializados) de 1Hz (1Hz_{pot}) e 10 Hz (10Hz_{pot}) foram aplicados, respectivamente, conforme descrito anteriormente por Millet e colaboradores (2011). Esses procedimentos (CVIM + estimulações) foram realizados três vezes com intervalo de 30 segundos nos momentos de repouso, pré-ciclismo e pós-ciclismo.

3.6 ANÁLISES DOS DADOS DE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA

Amplitudes pico a pico da onda M, obtida pela atividade eletromiográfica descrita a seguir, foram analisadas a partir da média dos três estímulos únicos (1 Hz) aplicados com o músculo relaxado. A média dos três estímulos referentes à amplitude da força gerada pelos estímulos único (1 Hz) e duplo (10 Hz) foram analisadas.

A amplitude da força gerada pelo estímulo único (1 Hz) sobreposto à CVIM sobre a amplitude da força gerada pelo estímulo único (1 Hz) potencializado foi

utilizada para obter o nível de ativação voluntária (%AV), como descrito na equação abaixo proposta por Strojnik e Komi (1998).

$$\%AV = 100 - 1Hz_{CVIM} \times (PAE/FE) / 1Hz_{pot} \times 100$$

Onde: $1Hz_{CVIM}$ é a amplitude da força gerada pelo estímulo único (1 Hz) sobreposto à CVIM, PAE é o pico de força antes do estímulo durante a CVIM, FE é a força gerada no momento do estímulo e $1Hz_{pot}$ é a amplitude da força gerada pelo estímulo de 1 Hz realizado após a CVIM. As variáveis de %AV, 1Hz, 10Hz e CVIM foram apresentadas em percentual de mudança em relação ao momento de repouso. Na condição 48h-DJ do estudo 2, essas variáveis foram apresentadas em percentual de mudança do momento de repouso da condição DJ.

3.7 AQUISIÇÃO DO SINAL ELETROMIOGRÁFICO

A atividade eletromiográfica do músculo vasto lateral (VL) do quadríceps direito foi recordada por meio de um eletromiografo portátil contendo 4 canais modelo MyoTrace™ 400 (Noaraxon, Scottsdale, Arizona, USA). Inicialmente, foi realizada tricotomia seguida por assepsia com álcool para reduzir a impedância da pele. Após esses procedimentos, um eletrodo de superfície bipolar de Ag/AgCl (Hal, São Paulo, Brasil) foi posicionado sobre o músculo VL. O eletrodo de referência foi posicionado em um local neutro (tíbia). Os eletrodos foram fixados sobre a pele utilizando fita adesiva (Micropore™ 3M, Campinas, SP, Brasil) para minimizar o movimento dos fios. A colocação e localização dos eletrodos foram realizadas de acordo com as recomendações do SENIAM (HERMENS et al. 2000). A frequência de amostragem para a aquisição dos registros eletromiográficos foi 1000 Hz.

3.8 ESTUDO 1

3.8.1 DESENHO EXPERIMENTAL

Durante as visitas subsequentes os participantes realizaram dois testes contrarrelógio de 4 km de ciclismo em ordem contrabalançada, separados por um intervalo mínimo de 48 h, nas seguintes condições (Figura 6): 1) após assistir 90 min de documentário (CON); 2) após a realização de um teste cognitivo para indução de fadiga mental (TC). Todos os testes experimentais foram realizados no período da

manhã afim de evitar possíveis interferências da variação circadiana. Os participantes do estudo foram orientados a não realizarem atividades físicas vigorosas, não ingerirem substâncias diuréticas, cafeinadas (café, chocolate, mate, pó-de-guaraná, coca-cola e guaraná) ou alcoólicas nas 24 horas precedentes aos testes.

Figura 6. Desenho experimental do estudo 1. TC: teste cognitivo. CVIM: contração voluntária isométrica máxima; AN: avaliação neuromuscular.

3.8.2 CONTROLE

Antes da realização do teste contrarrelógio, os participantes do presente estudo assistiram 2 episódios de um documentário nomeado de planeta terra com duração total de 90 min. Antes e após o documentário, os participantes responderam uma escala do tipo VAS referente a fadiga e motivação.

3.8.3 TESTE COGNITIVO

A fadiga mental foi induzida por meio de um protocolo previamente utilizado (MARCORA et al. 2009) que envolve um teste cognitivo (AX-CPT) realizado no computador. Durante o AX-CPT, uma sequência de quatro letras aparece na tela de um computador repetitivamente durante 90 min. Quando a sequência de quatro letras iniciava com a letra A e terminava com a letra X, os ciclistas foram orientados a apertar

o botão correspondente à sequência correta de letras, a qual foi estabelecida previamente. Quando a sequência de quatro letras não iniciava com a letra A e terminava com a letra X, os ciclistas foram orientados a apertar o botão correspondente a sequência incorreta de letras previamente estabelecida. Antes e após a realização da tarefa cognitiva para indução da fadiga mental, os participantes responderam a escala do tipo VAS referente a fadiga e motivação. A VAS referente a fadiga foi usada com um indicador indireto de fadiga mental (MARCORA et al. 2009).

3.9 ESTUDO 2

3.9.1 DESENHO EXPERIMENTAL

Três testes contrarrelógio (4 km) foram realizados em ordem contrabalançada, separados por um intervalo de 7-14 dias, nas seguintes condições (Figura 7): 1) sem exercício prévio (CON); 2) imediatamente após a realização de 100 *drop jumps* (DJ); 3) 48 h após a realização de um protocolo para indução de dano muscular que consistiu de 100 *drop jumps* (48h-DJ). Todos os testes experimentais foram realizados no período da manhã afim de evitar possíveis interferências da variação circadiana. Os participantes do estudo foram orientados a não realizarem atividades físicas vigorosas, não ingerirem substâncias diuréticas, cafeinadas (café, chocolate, mate, pó-de-guaraná, coca-cola e guaraná) ou alcoólicas nas 24 horas precedentes aos testes.

Figura 7. Desenho experimental do estudo 2. DJ: 100 *drop jumps*. 48h-DJ: 48 horas após a realização de 100 *drop jumps*. CVIM: contração voluntária isométrica máxima; AN: avaliação neuromuscular.

3.9.2 PROTOCOLO DE *DROP JUMP*

Os ciclistas realizaram dez séries de dez *drop jumps* a partir de uma plataforma com 40 cm de altura, intercalado por 1 min entre as séries. O mesmo protocolo tem sido efetivamente utilizado em estudos prévios (MACORA & BOSIO, 2007; TWIST & ESTON, 2005).

3.9.3. MARCADORES DO DANO MUSCULAR

Para verificar a efetividade do protocolo para indução do dano muscular, a CVIM do músculo quadríceps, realizadas assim que ciclistas chegaram ao laboratório, foram comparadas entre as condições CON, DJ e 48h-DJ. Adicionalmente, a escala VAS foi utilizada para avaliar o grau de dor muscular em ambas as pernas entre as condições. Além disso, os valores sanguíneos de CK e LDH (ver abaixo) também foram comparados entre as condições.

3.9.4 COLETA SANGUÍNEA E ANÁLISE DE MARCADORES BIOQUÍMICOS

Amostras contendo dez mililitros (ml) de sangue venoso da veia braquial foram coletadas utilizando tubos contendo EDTA em CON, pré-DJ, pós-DJ e 48h-DJ para análise dos marcadores bioquímicos. Após a coleta, as amostras foram centrifugadas a 4000 (rpm) durante 20 minutos para separação do plasma. Em seguida, as amostras foram armazenadas a -80° C para posterior análise bioquímica. CK e LDH foram analisadas por meio espectrofotometria (EONC, Biotek instruments, EUA), utilizando kits específicos (Bioclin). As concentrações de creatina quinase (CK) e lactato desidrogenase (LDH) são expressas em U/L. Por sua vez, interleucina 1 (IL-1), interleucina 6 (IL-6), interleucina 10 (IL-10) e fator de necrose tumoral-alfa (TNF- α) foram analisados em Luminex, utilizando kit específico (Biorad). As concentrações de citocinas foram expressos em pg/mL.

3.10 ESTUDO 3

3.10.1 DESENHO EXPERIMENTAL

Os participantes realizaram três testes contrarrelógio com 4 km de distância para a familiarização com os procedimentos. Nas visitas seguintes foram realizados três testes de 4 km de ciclismo contrarrelógio em ordem contrabalançada, separados por intervalo mínimo de 48 hrs, nas seguintes condições (Figura 8): 1) sem exercício prévio (CON); 2) imediatamente após a realização de 100 *drop jumps* para indução de fadiga prévia de membros inferiores (FP); 3) após teste progressivo máximo em cicloergômetro para membros superiores (TPMMS) para indução de fadiga prévia de membros superiores (FB). Todos os testes experimentais foram realizados no período da manhã afim de evitar possíveis interferências da variação circadiana. Os participantes do estudo foram orientados a não realizarem atividades físicas vigorosas, não ingerirem substâncias diuréticas, cafeinadas (café, chocolate, mate, pó-de-guaraná, coca-cola e guaraná) ou alcoólicas nas 24 horas precedentes aos testes.

Figura 8. Desenho experimental do estudo 3. FP: fadiga prévia de membros inferiores. FB: fadiga prévia de membros superiores. CVIM: contração voluntária isométrica máxima; AN: avaliação neuromuscular.

3.10.2 PROTOCOLO DE *DROP JUMP*

Fadiga prévia de membros inferiores foi induzida por meio de um protocolo envolvendo dez séries de dez *drop jumps* a partir de uma plataforma com 40 cm de altura, intercalado por 1 min entre as séries.

3.10.3 TESTE PROGRESSIVO MÁXIMO PARA MEMBROS SUPERIORES

Fadiga prévia de membros superiores foi induzida através de teste progressivo máximo para membros superiores. Primeiramente, os participantes realizaram um aquecimento com duração de três minutos utilizando apenas a resistência inercial do cicloergômetro (Cefise) para membros superiores. Em seguida, foi realizado incrementos de 10 W a cada minuto até a exaustão. Durante todo o teste os participantes tiveram que manter uma cadência o mais próximo possível de 90 RPM. A exaustão foi identificada quando os participantes reduziram a rotação abaixo de 80 RPM por três vezes. A PSE foi coletada a cada estágio. Os ciclistas atingiram $PO_{\max}$ de $105,3 \pm 25,4W$ e PSE de $19,0 \pm 1,0$.

3.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A distribuição dos dados foi analisada utilizando o teste de Shapiro-Wilk. O teste t pareado foi utilizado para comparar os valores de tempo para completar o teste de 4 km de ciclismo, VO_2 , PO, FC, PSE, CVIM, %AV, 1 Hz e 10 Hz entre as condições CON e TC, ao passo que análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas de um caminho, seguida do ajuste de LSD foi utilizada para comparar essas variáveis entre as condições dos estudos 2 (CON, DJ e 48h-DJ) e 3 (CON, FP e FB). Adicionalmente, a probabilidade de relevância prática (Benéfico, trivial e prejudicial) da influência das intervenções nos estudos 1, 2 e 3 sobre o desempenho nos 4 km de ciclismo foi calculada por meio de uma planilha estatística modificada (Hopkins, 2006). A mínima mudança detectável (*smallest worthwhile change*) foi calculada de acordo com o princípio do tamanho de Cohen. Assim, o efeito prático foi determinado de acordo com as seguintes classificações: <1% quase certamente não, 1–5% muito improvável, 5–25% improvável, 25–75% possivelmente, 75–95% provavelmente, 95–99% muito provavelmente e >99% quase certo. Caso a probabilidade de ter um efeito benéfico ou prejudicial for maior que 5 para ambos, o efeito prático será classificado como não claro, podendo ser benéfico ou prejudicial. Para avaliar a reprodutibilidade das variáveis CVIM, %AV, 1 Hz e 10 Hz entre os dias no momento repouso, o Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI) foi calculado. Os valores de CCI foram classificados como pobre (<0,40), moderado (0,40 – 0,75) e excelente (>0,75) de acordo com o proposto por Fleiss (1999). Para todos os tratamentos foi adotado um nível de significância de 5% ($P \leq 0,05$). Todas as análises foram realizadas utilizando o software SPSS 13.0.

4 RESULTADOS

4.1 Resultado Geral

Os dados obtidos a partir do teste progressivo máximo estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Média e desvio padrão de P_{Omáx}, V_{O₂máx}, F_{Cmáx}, LV₁ e LV₂ durante teste progressivo máximo.

Variáveis	Média ± DP
P _{Omáx} (W)	388,6 ± 52,1
V _{O₂máx} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	53,6 ± 5,9
F _{Cmáx} (bpm)	183 ± 6
LV ₁ (W)	227,9 ± 57,4
LV ₂ (W)	293,8 ± 57,6

P_{Omáx}: potência máxima; V_{O₂máx}: consumo máximo de oxigênio; F_{Cmáx}: frequência cardíaca máxima; LV₁: primeiro limiar ventilatório; LV₂: segundo limiar ventilatório.

4.2 ESTUDO 1

Os deltas (pós-pré) das variáveis de sensação de fadiga e motivação são apresentados na Figura 9. Houve aumento significativo na variável de fadiga na condição TC quando comparado à CON (P= 0,003), enquanto a motivação permaneceu inalterada entre as condições (P= 0,858). Adicionalmente, não foram encontradas diferenças significativas (P> 0,005) no Δglicose sanguínea (CON: -9,3 ± 6,4; TC: -7,5 ± 8,7).

Figura 9. Delta dos valores de sensação de fadiga e motivação nas condições controle (CON) e após teste cognitivo (TC). *Significativamente diferente de CON ($P < 0,05$).

O tempo para completar os 4 km de ciclismo foi similar ($P = 0,726$) entre as condições CON e TC, como demonstrado na Figura 10. A probabilidade de relevância prática para o desempenho entre as condições CON e TC foi quase certo trivial (0 benéfico - 100 trivial - 0 prejudicial).

Figura 10. Tempo nos 4km de ciclismo realizado na condição controle (CON) e após teste cognitivo (TC). Dados expressos como média (●) e valores individuais (○).

A estratégia de prova adotada pelos ciclistas durante os 4 km de ciclismo está descrita na Figura 11. A estratégia de prova foi similar entre as condições CON e TC, com exceção de uma redução significativa observada na PO nos 1600m na condição CON comparado com TC ($P < 0,05$).

Figura 11. Estratégia de prova durante 4km de ciclismo após a condição controle (CON) e após teste cognitivo (TC). $VO_{2máx}$: consumo máximo de oxigênio. LV_2 : segundo limiar ventilatório. *Significativamente diferente de CON ($P < 0,05$).

Os valores de CCI para as variáveis $\%AV$, $1Hz_{pot}$, $10Hz_{pot}$ e CVIM foram 0,96, 0,82, 0,65 e 0,72, respectivamente. De acordo com a classificação adotada na presente tese, CCI para $\%VA$ e $1Hz_{pot}$ são considerados excelentes, ao passo que os valores de CCI para $10Hz_{pot}$ e CVIM são classificados com moderado. Os valores de $\%AV$, $1Hz_{pot}$, $10Hz_{pot}$ e CVIM estão descritos na Figura 12. Essas variáveis apresentaram valores similares ($P > 0,05$) entre as condições nos momentos pré e pós-ciclismo. Na condição CON, a amplitude da onda M aumentou significativamente ($P < 0,05$) após os 4 km de ciclismo ($27,1 \pm 3,7$ mV) quando comparado com repouso ($23,5 \pm 5,3$ mV) e pré-ciclismo ($24,3 \pm 4,6$ mV). Da mesma forma, em TC, também foi encontrada maior ($P < 0,05$) amplitude da onda M em pós-ciclismo ($27,1 \pm 3,0$ mV) em relação ao repouso ($25,2 \pm 3,2$ mV) e pré-ciclismo ($25,1 \pm 2,5$ mV).

Figura 12. Percentual de mudança em CVIM (painel A), %AV (painel B), 1Hz_{pot} (painel C) e 10Hz_{pot} (painel D) nas condições controle (CON) e após teste cognitivo (TC). CVIM: contração isométrica máxima. %AV: percentual de ativação voluntária máxima. 1Hz_{pot}: amplitude da força a partir do estímulo de 1Hz realizado após a CVIM. 10Hz_{pot}: amplitude da força a partir do estímulo de 10Hz realizado após a CVIM.

Como pode ser observado na Tabela 2, os ciclistas apresentaram valores médios similares para PO ($P= 0,239$), PSE ($P= 0,609$), FC ($P= 0,424$) e VO_2 ($P= 0,563$) durante os 4 km de ciclismo nas condições CON e TC.

Tabela 2. Média e desvio padrão de PO, VO₂, FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON) e após teste cognitivo (TC).

	CON	TC
PO (W)	310 ± 60	308 ± 57
VO₂ (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	48,4 ± 7,5	47,7 ± 8,4
FC (bpm)	161 ± 7	159 ± 7
PSE (u.a.)	16 ± 2	16 ± 2

PO: potência. VO₂: consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço.

Quando a PSE, FC e VO₂ foram analisados nos diferentes trechos do 4km de ciclismo, também não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as condições (Figura 13).

Figura 13. Média e desvio padrão de VO_2 (painel A), FC (Painel B) e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON) e após teste cognitivo (TC). VO_2 :

consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço.

4.3 ESTUDO 2

O desempenho durante os 4 km de ciclismo nas condições CON, DJ e 48h-DJ estão descritos na Figura 14. Houve redução significativa ($P = 0,009$) no desempenho em DJ quando comparado com CON. Por outro lado, foi detectado uma tendência de diferença entre 48h-DJ e CON ($P = 0,082$). No entanto, verificamos que 7 dos 8 participantes apresentaram redução no desempenho em 48h-DJ comparado com CON. A probabilidade de relevância prática para o desempenho entre as condições CON e DJ foi provavelmente prejudicial (0 benéfico - 16 trivial - 84 prejudicial) e entre CON e 48h-DJ foi possivelmente prejudicial (0 benéfico - 43 trivial - 57 prejudicial).

Figura 14. Tempo nos 4km de ciclismo realizado nas condições controle (CON), *drop jump* (DJ) e 48h após DJ (48h-DJ). Dados expressos como média (●) e valores individuais (○). *Significativamente maior comparado com CON ($P < 0,05$). #Tendência ($P = 0,082$) em comparação a condição CON.

Os indicadores de dano muscular estão descritos na Tabela 3. A escala VAS apresentou aumento significativo em 48h-DJ em comparação com CON e DJ ($P < 0,05$). Por sua vez, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre as condições DJ e CON para CVIM, CK e LDH.

Tabela 3. Média e desvio padrão dos indicadores de dano muscular nas condições controle (CON), *drop jumps* (DJ) e 48 h DJ (48h-DJ).

	CON	DJ		48h-DJ
		Pré	Pós	
VAS (u.a)	$0,1 \pm 0,1$	$0,7 \pm 1,0$	-	$5 \pm 1,8^*$
CVIM (N)	$620,4 \pm 112,4$	$650,7 \pm 117,8$	-	$606,1 \pm 183,7$
CK (U/L)	$115,1 \pm 54,1$	$133,2 \pm 80,7$	$175,4 \pm 95,2$	$144,4 \pm 57,3$
LDH (U/L)	$193,1 \pm 35,9$	$220,7 \pm 81,5$	$224,8 \pm 41,4$	$190,3 \pm 25,5$

CVIM: contração voluntária isométrica máxima. CK: creatina quinase. LDH: lactato desidrogenase. *Significativamente diferente de CON e DJ ($P < 0,05$).

Quanto as concentrações de citocinas (Tabela 4), não houve diferenças significativas entre as condições para IL-1 e IL-6. IL-10 foi significativamente menor em pós-DJ comparado com Pré-DJ e 48h-DJ ($P < 0,05$). TNF α foi significativamente menor após 100-DJ quando comparado as condições CON, Pré-DJ e 48h-DJ ($P < 0,05$).

Tabela 4. Concentrações de citocinas nas condições controle (CON), *drop jump* (DJ) e 48h após DJ (48h-DJ).

	CON	DJ		48h-DJ
		Pré-100DJ	Pós-100DJ	
IL-1 (pg/mL)	0,16 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,02
IL-6 (pg/mL)	0,39 ± 0,23	0,40 ± 0,19	0,45 ± 0,24	0,51 ± 0,28
IL-10 (pg/mL)	0,93 ± 0,07	0,95 ± 0,06	0,84 ± 0,10*	1,05 ± 0,18
TNFα (pg/mL)	1,30 ± 0,39	1,32 ± 0,41	0,65 ± 0,41#	1,40 ± 0,94

IL-1: interleucina 1. IL-6: interleucina 6. IL-10: interleucina 10. TNF-α: fator de necrose tumoral-alfa. Pré-100DJ: imediatamente antes da realização dos 100 *drop jumps*. Pós-100DJ: imediatamente após a realização dos 100 *drop jumps*. *Significativamente menor após 100 *drop jumps* comparado com Pré-DJ e 48h-DJ ($P < 0,05$). #Significativamente menor após 100 *drop jumps* comparado com CON, Pré-DJ e 48h-DJ ($P < 0,05$).

A estratégia de prova foi alterada pelas intervenções (Figura 15). Especificamente, houve redução significativa ($P < 0,05$) na PO nos primeiros 1200 m e nos trechos 3200 e 3600 m em DJ em relação à CON. Por sua vez, a PO do trecho inicial (primeiros 800 m) foi significativamente ($P < 0,05$) menor em 48h-DJ quando comparado com a condição CON. No entanto, quando a estratégia de prova foi comparada entre as condições DJ e 48h-DJ, não foi evidenciada diferenças significativas ($P > 0,05$).

Figura 15. Estratégia de prova durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON), *drop jump* (DJ) e 48h após DJ (48h-DJ). *Significativamente menor em DJ comparado com CON ($P < 0,05$). #Significativamente menor em 48h-DJ comparado com CON ($P < 0,05$). VO_2 : consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço.

Os valores de CCI de $1Hz_{pot}$ (0,81), $10Hz_{pot}$ (0,83) e CVIM (0,76) apresentam excelente reprodutibilidade dessas variáveis. No entanto, %AV apresentou CCI de 0,6 classificado como reprodutibilidade moderada. Os valores de %AV, $1Hz_{pot}$, $10Hz_{pot}$ e CVIM estão descritos na Figura 16. CVIM, $1Hz_{pot}$ e $10Hz_{pot}$ foram significativamente ($P < 0,05$) menores em DJ quando comparado com CON e 48h-DJ nos momentos pré e pós-ciclismo. Em adição, houve redução significativa ($P = 0,002$) em %AV pós-ciclismo na condição DJ em relação à CON. Na condição CON, a amplitude da onda M apresentou aumento significativo ($P < 0,05$) em pós-ciclismo ($27,1 \pm 3,7$ mV) quando comparado ao repouso ($23,5 \pm 5,3$ mV) e pré-ciclismo ($24,3 \pm 4,6$ mV). Após a realização dos 100 *drop jumps* houve redução significativa ($P < 0,05$) na amplitude da onda M ($21,2 \pm 4,2$ mV) em relação aos momentos de repouso ($24,4 \pm 3,6$ mV) e pós-ciclismo ($24,3 \pm 4,0$ mV). Em 48h-DJ encontramos aumento significativo pós-ciclismo

($25,8 \pm 2,0$ mV) em comparação com repouso ($24,4 \pm 3,6$ mV) e pré-ciclismo ($23,1 \pm 2,4$ mV).

Figura 16. Percentual de mudança em CVIM (painel A), %AV (painel B), 1Hz_{pot} (painel C) e 10Hz_{pot} (painel D) nas condições controle (CON), *drop jump* (DJ) e 48h após DJ (48h-DJ). CVIM: contração voluntária isométrica máxima. %AV: percentual de ativação voluntária máxima. 1Hz_{pot}: amplitude da força a partir do estímulo de 1Hz realizado após a CVIM. 10Hz_{pot}: amplitude da força a partir do estímulo de 10Hz realizado após a CVIM. *Significativamente diferente de CON e 48h-DJ (P < 0,05). #Significativamente diferente de CON (P < 0,05).

Como evidenciado na Tabela 5, os valores médios de VO₂, FC e PSE não diferiram entre as condições (P > 0,05). A PO média foi significativamente menor (P = 0,013) em DJ comparado com CON.

Tabela 5. Média e desvio padrão de PO, VO₂, FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON), *drop jumps* (DJ) e 48h após DJ (48h-DJ).

	CON	DJ	48h-DJ
PO (W)	310 ± 60	293 ± 56*	299 ± 64
VO₂ (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	47,5 ± 7,6	46,3 ± 8,4	47,7 ± 8,6
FC (bpm)	161 ± 8	166 ± 9	163 ± 9
PSE (u.a)	16 ± 2	16 ± 2	16 ± 2

PO: potência. VO₂: consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço. *Significativamente menor em DJ comparado com CON.

Ao analisar as variáveis de PSE, VO₂ e FC de forma detalhada (Figura 17), não foi evidenciado diferença significativa ($P > 0,05$) entre as condições.

Figura 17. Média e desvio padrão de VO_2 (painel A), FC (Painel B) e PSE (Painel C) durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON), *drop jump* (DJ) e 48h após

DJ (48h-DJ). VO_2 : consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço.

4.4 ESTUDO 3:

O desempenho foi significativamente prejudicado nas condições FB e FP quando comparado com CON ($P=0,009$ e $P=0,021$, respectivamente), o qual está descrito na Figura 18. No entanto, não foi encontrada diferença entre FB e FP ($P=0,159$). A probabilidade de relevância prática para o desempenho entre as condições CON e FP foi provavelmente prejudicial (0 benéfico - 16 trivial - 84 prejudicial) e entre CON e FB foi possivelmente trivial (0 benéfico - 56 trivial - 44 prejudicial).

Figura 18. Tempo nos 4km de ciclismo realizado nas condições controle (CON), fadiga prévia de membros inferiores (FP) e fadiga prévia de membros superiores (FB). Dados expressos como média (●) e valores individuais (○). *Significativamente maior comparado com CON ($P < 0,05$).

As estratégias de prova nas condições CON, FB e FP estão presentes na Figura 19. Na condição FB, os ciclistas realizaram menor ($P < 0,05$) média de PO em 2000, 3600 e 4000 m comparado à condição CON. Adicionalmente, a PO nos

primeiros 1200 m e nos trechos 3200 e 3600 foi significativamente menor ($P < 0,05$) em FP quando comparado à condição CON. Quando comparada a estratégia de prova entre as condições FB e FP, foi evidenciada redução significativa ($P < 0,05$) na média de PO nos primeiros 800 m e em 3200 m na condição FP.

Figura 19. Estratégia de prova durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON), fadiga prévia de membros inferiores (FP) e fadiga prévia de membros inferiores (FB). *Significativamente menor em FP comparado com CON ($P < 0,05$). #Significativamente menor em FB comparado com CON ($P < 0,05$). \$Significativamente menor em FB comparado com FP ($P < 0,05$).

Excelentes valores de CCI foram encontrados para %AV (0,76), 1Hz_{pot} (0,88), 10Hz_{pot} (0,85) e CVIM (0,78), demonstrando alta reprodutibilidade dessas variáveis entre as condições. Os valores de %AV, 1Hz_{pot} , 10Hz_{pot} e CVIM estão descritos na figura 20. CVIM, %AV, 1Hz_{pot} e 10Hz_{pot} em FP foram significativamente menores em relação à CON e FB no momento pré-ciclismo ($P < 0,05$). Adicionalmente, 1Hz_{pot} e 10Hz_{pot} apresentaram redução significativa ($P < 0,05$) pós-ciclismo em FP quando comparado com CON e FB. Por outro lado, a CVIM no momento pós-ciclismo em FP foi significativamente menor apenas em comparação com FB ($P = 0,02$). Após os 4

km de ciclismo, os participantes apresentaram maior redução ($P < 0,05$) em 1Hz_{pot} e 10Hz_{pot} na condição CON quando comparado com FB. Na condição CON, a amplitude da onda M foi significativamente maior ($P < 0,05$) em pós-ciclismo ($27,1 \pm 3,7 \text{ mV}$) comparado com os momentos repouso ($23,5 \pm 5,3 \text{ mV}$) e pré-ciclismo ($24,3 \pm 4,6 \text{ mV}$). Em FP, a amplitude da onda M foi menor ($P < 0,05$) no momento pré-ciclismo ($21,2 \pm 4,2 \text{ mV}$) quando comparado com de repouso ($24,4 \pm 3,6 \text{ mV}$) e pós-ciclismo ($24,3 \pm 4,0 \text{ mV}$). A amplitude da onda M apresentou aumento significativo ($P < 0,05$) após os 4 km de ciclismo ($25,9 \pm 4,0 \text{ mV}$) em relação aos momentos repouso ($23,8 \pm 4,1 \text{ mV}$) e pré-ciclismo ($23,4 \pm 3,6 \text{ mV}$) na condição FB.

Figura 20. Percentual de mudança em CVIM (painel A), %AV (painel B), 1Hz (painel C) e 10Hz (painel D) nas condições controle (CON), fadiga prévia membros inferiores (FP) e fadiga prévia de membros inferiores (FB). CVIM: contração voluntária isométrica máxima. %AV: percentual de ativação voluntária máxima. 1Hz_{pot} : amplitude da força a partir do estímulo de 1Hz realizado após a CVIM. 10Hz_{pot} : amplitude da

força a partir do estímulo de 10Hz realizado após a CVIM. *Significativamente diferente de CON e FB ($P < 0,05$). #Significativamente diferente de FB ($P < 0,05$).

A média e desvio padrão das variáveis de PO, VO_2 , FC e PSE estão descritas na Tabela 6. De modo similar ao desempenho, a PO média apresentou significativa redução durante os 4 km de ciclismo nas condições FB ($P = 0,027$) e FP ($P = 0,013$) em relação à CON, ao passo que a PO média não diferiu entre FB e FP ($P = 0,139$) (Tabela 6). A média de FC durante os 4 km de ciclismo foi significativamente maior nas condições FB e FP quando comparadas com CON ($P = 0,013$ e $P = 0,043$, respectivamente). Entretanto, o VO_2 e a PSE apresentaram valores similares entre as condições ($P > 0,05$).

Tabela 6. Média e desvio padrão de PO, VO_2 , FC e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON), fadiga prévia membros inferiores (FP) e fadiga prévia de membros inferiores (FB).

	CON	FP	FB
PO (W)	310 ± 60	293 ± 56*	299 ± 59*
VO_2 (ml.kg⁻¹.min⁻¹)	47,5 ± 7,6	46,3 ± 8,4	47,8 ± 8,7
FC (bpm)	161 ± 7	166 ± 9*	168 ± 8*
PSE (u.a)	16 ± 2	16 ± 2	16 ± 2

PO: potência. VO_2 : consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço. u.a: unidade arbitrária. *significativamente menor comparado com CON.

Quando analisada de forma mais detalhada (Figura 21), apenas a FC apresentou diferença significativa entre as condições. Especificamente, a FC foi maior ($P > 0,05$) em FB comparado com CON nos primeiros 2800 m e em 3600m.

Figura 20. Média e desvio padrão de VO_2 (painel A), FC (Painel B) e PSE durante 4km de ciclismo nas condições controle (CON), fadiga prévia de membros inferiores

(FP) e fadiga prévia de membros superiores (FB). VO_2 : consumo de oxigênio. FC: frequência cardíaca. PSE: percepção subjetiva de esforço. *Significativamente maior em FB comparado com CON ($P < 0,05$).

5 DISCUSSÃO

Como apresentado na sessão de objetivos, a presente tese foi composta por três estudos, os quais tiveram como objetivo avaliar os possíveis efeitos do dano muscular, tarefa cognitiva, fadiga prévia de membros inferiores e superiores sobre a estratégia de prova. A seguir os principais achados de cada estudo serão discutidos em subtópicos de acordo com os assuntos correlatos.

5.1 ESTUDO 1

O objetivo do presente estudo foi testar a hipótese que a tarefa cognitiva prévia produziria fadiga mental e resultaria em prejuízo no desempenho por meio de uma alteração da estratégia de prova durante 4 km de ciclismo contrarrelógio. Contrariando a nossa hipótese inicial, nossos principais resultados demonstram que a estratégia de prova e desempenho durante ciclismo de média duração não foram afetados por prolongado esforço mental.

Embora o prolongado esforço mental tenha sido efetivo para induzir a sensação de fadiga mental sem alterar a motivação, o desempenho durante 4 km de ciclismo no qual foi prejudicado. Esses resultados diferem dos apresentados no trabalho de Marcora et al (2009) que deram início à proposta do modelo psicobiológico da fadiga, onde foi observado que o tempo para exaustão foi significativamente menor após a realização de uma tarefa cognitiva prolongada. Por outro lado, os dados do presente estudo são consistentes com os achados de estudos relativamente mais recentes (MARTIN et al. 2015; DUNCAN et al. 2015). Interessantemente, estudos utilizando exercício de alta intensidade não tem demonstrado prejuízo no desempenho após a realização de prolongado esforço mental (MARTIN et al. 2015; DUNCAN et al. 2015), ao passo que ao realizar exercícios submáximos, esses efeitos deletérios sobre o desempenho são evidenciados (MARCORA et al. 2009; PAGEAUX et al. 2013, 2014a;

MACMAHON et al. 2014). Coletivamente, esses achados sugerem que os efeitos da fadiga mental sobre o desempenho pode ser tarefa dependente, apresentando piora no desempenho principalmente em exercícios submáximos e de intensidade constante. Esses tipos de exercício são limitados, principalmente, pela fadiga central que é caracterizada por progressiva redução na capacidade do SNC em ativar voluntariamente o músculo durante o exercício (GANDEVIA, 2001). Isso é importante uma vez que espera-se que prolongada tarefa cognitiva promova alterações no SNC sem alguma alteração periférica

Sabe-se que a capacidade do músculo esquelético de gerar força é limitada por fatores centrais e periféricos (GANDEVIA, 2001). Por sua vez, embora a realização de prolongado esforço mental tenha resultado em maior sensação de fadiga, parâmetros relacionados à fadiga central e periférica não foram significativamente diferentes em relação à CON. Além disso, não encontramos aumento exacerbado de fadiga central após 4 km de ciclismo realizado após tarefa cognitiva. Esses achados estão alinhados aos encontrados previamente por outros estudos (PAGEAUX et al. 2015; ROZAND et al. 2014), mesmo aqueles que encontraram redução no desempenho após tarefa cognitiva. Desse modo, nossos resultados reforçam os achados de outros estudos, demonstrando que a fadiga mental e central são fenômenos distintos e não são associados.

A redução no desempenho após a realização de uma tarefa cognitiva de longa duração tem sido atribuída a maior percepção de esforço sem que haja alterações em variáveis fisiológicas nesta condição (MARCORA et al. 2009). Possivelmente, dois mecanismos poderiam explicar a maior PSE na condição TC. O primeiro, seria maior ativação no córtex cingulado anterior, área localizada no córtex pré-frontal, que por sua vez estaria associada à PSE (WILLIAMSON et al. 2001, 2002). O segundo mecanismo envolve maior acúmulo de adenosina no cérebro após tarefa cognitiva prolongada (ROZAND et al. 2014), levando à redução do desempenho durante o exercício (DAVIS et al. 2003). Em conjunto, esses efeitos resultariam em maior sensação de cansaço e falta de energia em repouso, tendo como consequência o aumento da sensação de esforço durante o exercício. Porém, nossos resultados apontam na direção contrária a esse postulado. O esforço mental prolongado não promoveu alterações na PSE durante 4 km de ciclismo contrarrelógio. Nesse sentido, estudos têm apresentado resultados conflitantes acerca dos efeitos da fadiga mental

sobre a PSE (MARCORA et al. 2009; PAGEAUX et al. 2014a; MARTIN et al. 2015; DUNCAN et al. 2015; MACMAHON et al. 2014). É importante destacar que apenas o presente estudo e os realizados por MacMahon et al. (2014) e Duncan et al. (2015) utilizaram indivíduos treinados na amostra e encontraram resultados divergentes. Enquanto o nosso estudo e de Duncan et al (2015) mostraram que a PSE não difere após tarefa cognitiva, MacMahon et al. (2014) encontraram PSE similar à condição controle para menor intensidade com fadiga mental, sugerindo maior sensação de esforço. Embora nós tenhamos que considerar o número escasso de estudos na literatura, não podemos descartar que indivíduos treinados podem ser menos responsivos à fadiga mental promovida por tarefa cognitiva prolongada.

Ao analisar a estratégia de prova após a realização do teste cognitivo prolongado não encontramos diferença em seu padrão. Em ambas condições, os ciclistas adotaram saída rápida, seguida por desaceleração na parte média da prova e realizaram aceleração na parte final da prova. Essa estratégia de prova em formato de “U” tem sido frequentemente observada em estudos que utilizaram testes de ciclismo contrarrelógio de média duração (STONE et al. 2011; SANTOS et al. 2013; CORREIA-OLIVEIRA et al. 2014). O número de estudos encontrados na literatura que avaliaram os efeitos da tarefa cognitiva sobre a estratégia de prova é escasso (PAGEAUX et al. 2014a; MARTIN et al. 2015). Da mesma forma que o encontrado no presente estudo, esses estudos não constataram alterações na estratégia de prova em indivíduos com fadiga mental. No entanto, é importante destacar que esses estudos apresentam limitações em relação à estratégia de prova. Enquanto um dos estudos (PAGEAUX et al. 2014a) avaliou a estratégia de prova em exercício realizado na esteira, onde os indivíduos não ajustam a intensidade a cada passada como ocorre em cenário real de prova, no outro estudo (MARTIN et al. 2015) os participantes foram instruídos a realizar o início do teste na máxima intensidade possível e reduzir progressivamente ao longo do teste. Assim, ao menos em nosso conhecimento, o presente estudo é o primeiro a investigar os efeitos da tarefa cognitiva de longa duração sobre a estratégia de prova na qual os ciclistas auto-selecionaram a intensidade durante toda prova.

5.2 ESTUDO 2

O segundo estudo da presente tese teve como principal objetivo avaliar os efeitos da fadiga aguda dos músculos locomotores (DJ) e do dano muscular sobre a estratégia de prova e desempenho durante os 4 km de ciclismo contrarrelógio. O principal resultado do nosso estudo foi a redução significativa no desempenho em DJ e tendência de queda na condição 48h-DJ. Adicionalmente, a estratégia de prova adotada pelos participantes foi alterada durante o ciclismo de média duração.

Uma redução no desempenho realizado após fadiga prévia induzida por protocolo que envolve a realização de 100 *drop jumps* tem sido demonstrada previamente por outros estudos (MORREE e MARCORA, 2013; MARCORA e BOSIO, 2007). Assim, o prejuízo no desempenho logo após a realização dos 100-DJ encontrado no presente estudo está de acordo com os achados da literatura. Por sua vez, 48 horas após a realização dos 100 *drop jumps* foi encontrada uma tendência no prejuízo do desempenho quando comparado com a condição CON. Desse modo, a redução no desempenho evidenciada imediatamente após os 100 *drop jumps* parece permanecer, em menor magnitude, 48 horas após a sua realização.

Logo após a realização dos 100 *drop jumps*, os participantes apresentaram redução significativa nas variáveis %AV, 1Hz e 10Hz, demonstrando a ocorrência de significativa fadiga central e periférica. Interessantemente, ao avaliar a função neuromuscular após o teste contrarrelógio, apenas as variáveis 1Hz e 10 Hz foram significativamente reduzidas em DJ comparado à condição CON e 48h-DJ, sugerindo que o desempenho durante os 4 km de ciclismo foi prejudicado por uma exacerbação da fadiga periférica. Nesse sentido, alterações em estruturas intramusculares têm sido relatadas após a realização de exercícios envolvendo ações excêntricas (BYRD, 1992). Especificamente, tem sido relatado alargamento na estrutura do retículo sarcoplasmático e isso resultaria em um prejuízo na liberação e na taxa de reabsorção de cálcio (MCCUTCHEON et al.1992). A ideia de uma menor liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático após 100-DJ é suportada pelos nossos resultados, uma vez que identificamos fadiga de baixa frequência, evidenciada pela redução no torque produzido pelo estímulo de 10 Hz, que por sua vez é associada ao prejuízo na liberação cálcio. Em adição, encontramos redução significativa na amplitude da onda

M após a realização dos 100 *drop jumps*, sugerindo prejuízo na excitabilidade da membrana muscular provavelmente devido ao dano mecânico no sarcolema.

A exacerbada fadiga periférica verificada após os 4 km de ciclismo em DJ não foi constatada depois de 48 h, o que sugere completa recuperação. Em adição, uma falha na liberação e na taxa de reabsorção de cálcio na condição 48 h após a realização dos 100 *drop jumps* é pouco provável, visto que alterações na estrutura do retículo sarcoplasmático causadas por exercícios intensos são revertidas em poucas horas (MCCUTCHEON et al.1992). Isso é suportado por similares respostas ao estímulo de baixa frequência (10 Hz) entre 48h-DJ e CON. Sendo assim, outros mecanismos parecem estar envolvidos na tendência de redução do desempenho encontrada na condição 48h-DJ.

Acredita-se que o desempenho durante a realização de exercícios com dano muscular pode ser limitado devido ao aumento da resposta inflamatória nesta condição (VARGAS e MARINO, 2004). Tem sido proposto que um aumento nos níveis circulantes de citocinas inflamatórias seriam detectados pelo SNC por meio de nervos aferentes, resultando em maior sensação de fadiga e menor comando eferente para os músculos exercitados. Porém, nossos resultados não demonstram um aumento das concentrações de citocinas 48h após 100 *drop jumps*. A mais provável explicação para esse achado é que o protocolo utilizado no presente estudo não foi eficaz em produzir dano muscular suficiente para o aumento da resposta inflamatória nos participantes do estudo. Por outro lado, embora não tenha ocorrido dano muscular e aumento da resposta inflamatória, nós evidenciamos aumento significativo da dor muscular 48h após a realização dos 100 *drop jumps*. Esse resultado está em acordo com os achados da literatura, no qual sugerem não haver relação entre a dor muscular tardia e marcadores indiretos de dano muscular, como por exemplo, atividade da CK e redução da força muscular (NOSAKA et al. 2002) ou entre dor muscular tardia e inflamação muscular (MALM et al. 2000). Dessa forma, nossos resultados sugerem que a tendência na redução do desempenho em 48h-DJ é em decorrência da maior dor muscular relatada pelos participantes do estudo.

Em relação ao comportamento das variáveis perceptivas e fisiológicas durante o teste de 4 km de ciclismo contrarrelógio em DJ e 48h-DJ, não evidenciamos

diferenças significativas entre as condições. Curiosamente, apesar dos participantes terem apresentado redução significativa na potência média em DJ e 48h-DJ, as variáveis de PSE, VO_2 e FC apresentaram valores similares quando comparado a CON. Em conjunto, esses resultados indicam maior estresse fisiológico e sensação de esforço para menor intensidade. Assim como o demonstrado por prévios estudos (MARCORA e BOSIO, 2007; TWIST e ESTON, 2009), a PSE só atingiu o seu valor máximo apenas ao final do teste contrarrelógio de ciclismo. Desse modo, esse achado sugere que a intensidade durante o teste contrarrelógio é regulada de forma que a máxima PSE seja atingida apenas no ponto final da prova.

A estratégia de prova foi alterada em DJ e 48h-DJ em relação à condição CON. Enquanto na condição CON os participantes do presente estudo apresentaram estratégia de prova em forma de “U”, nas condições DJ e 48h-DJ a estratégia de prova adotada foi em forma de “J” devido à redução da intensidade na parte inicial dos 4 km de ciclismo contrarrelógio. Dessa forma, os participantes do nosso estudo adotaram início de prova mais conservador logo após a realização de 100 *drop jumps* e isso se manteve mesmo 48 horas depois (48h-DJ). Diferentemente dos nossos achados, outros estudos não têm evidenciado mudança na estratégia de prova após 100-DJ (MORREE e MARCORA, 2013) e dano muscular (MARCORA e BOSIO, 2007), embora significativa redução na intensidade tenha sido encontrada nesses estudos. Uma possível explicação para esses distintos achados pode se encontrar nas diferentes durações dos testes, uma vez que em nosso estudo os participantes realizaram os 4 km de ciclismo em ~6 min enquanto que nos estudos encontrados na literatura utilizaram 15 min de ciclismo (MORREE e MARCORA, 2013) e 30 min de corrida (MARCORA e BOSIO, 2007). Nesse sentido, durante a realização de provas mais curtas os atletas realizam esforço maior, ao passo que com o aumento da distância a intensidade passa a ser reduzida (THOMAS et al 2015). Assim, esses resultados indicam que 100-DJ promove maiores prejuízo na realização de exercícios de intensidade mais elevada e que este permanece, em menor magnitude, por vários dias. Isso parece plausível, uma vez que tem sido sugerido que exercícios envolvendo saltos promove maior recrutamento de fibras do tipo II (FRIDÉN et al. 1983), que por sua vez são mais recrutadas durante a realização de exercício mais intensos (CARTER et al. 2004).

5.3 ESTUDO 3

O principal objetivo deste estudo foi analisar os efeitos da realização prévia de exercícios utilizando músculos envolvidos (FP) e não envolvidos (FB) em uma prova de 4 km de ciclismo contrarrelógio. Nossos principais achados demonstram que tanto a fadiga prévia dos músculos dos membros inferiores quanto a de membros superiores promovem redução do desempenho. Essa redução do desempenho foi acompanhada por menores intensidades no trecho inicial em FP e final nas condições FP e FB. Porém, apenas no contrarrelógio com exercício prévio de membros inferiores, a estratégia de prova foi alterada.

Uma diminuição no desempenho após a realização prévia de exercício com músculos não envolvidos na tarefa principal tem sido previamente relatada por estudos anteriores (JOHNSON et al. 2014, JOHNSON et al. 2015; BOGDANIS et al. 1994). No entanto, ao menos em nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a demonstrar qual parte da prova é prejudicada. Nossos resultados demonstram que a fadiga prévia dos membros superiores resultou em menor intensidade, principalmente, na parte final do contrarrelógio. No entanto, a estratégia de prova se manteve similar à adotada pelos participantes do estudo na condição controle. Brevemente, os participantes iniciaram os 4 km de ciclismo com uma saída rápida seguido pela manutenção de intensidades menores na parte intermediária e, por fim, aceleração na parte final da prova. Em conjunto, esses achados demonstram que a estratégia de prova durante 4 km de ciclismo não é alterada com fadiga prévia de membros superiores, apesar de haver significativa redução da intensidade no final da prova. Por sua vez, a regulação da intensidade no trecho final tem sido relacionada a fatores fisiológicos (BERTUZZI et al. 2014). Essa afirmação está de acordo com o encontrado no presente estudo, pois embora a FC tenha apresentado valores elevados desde o início da prova em FB comparado à CON, apenas o trecho final foi alterado.

Em contraste ao encontrado na condição FB, durante a realização dos 4 km de ciclismo com fadiga prévia de membros inferiores a estratégia de prova foi alterada, apresentando formato de “J” enquanto a condição CON apresentou formato clássico de “U”. Especificamente, os participantes adotaram saída mais conservadora em FP em relação à CON. Em adição, a parte final da prova (3200 e 3600 m) também apresentou menor intensidade em FP comparado com CON. Esses resultados estão

de acordo com o reportado previamente (MORREE e MARCORA, 2013). Adicionalmente, nossos achados corroboram com a ideia de que a intensidade nos trechos inicial e final são reguladas de acordo com alterações perceptivas e fisiológicas, respectivamente (BERTUZZI et al. 2014). De fato, apesar dos participantes terem apresentado menor intensidade nesses trechos, a FC, VO_2 e PSE foram similares ao encontrado na condição CON, sugerindo a existência de mesmo estresse fisiológico e percepção de esforço para menor intensidade. Em conjunto, os achados do presente estudo demonstram que a estratégia de prova parece ser alterada apenas por alterações intramusculares no músculo envolvido na tarefa subsequente.

Ao analisarmos o desempenho, verificamos redução significativa fadiga prévia de membros inferiores (-2,3%) e superiores (-1,5%) quando comparado a condição sem exercício prévio. Esses achados estão de acordo com o encontrado na literatura (MARCORA et al. 2008; AMANN e DEMPSEY, 2008; JOHNSON et al. 2014; BOGDANIS et al. 1994). De fato, alguns estudos têm demonstrado significativa redução no desempenho durante exercícios de membros inferiores após fadiga prévia da musculatura envolvida (LOPES-SILVA et al. 2015; MARCORA et al. 2008; AMANN e DEMPSEY, 2008; MORREE e MARCORA, 2013) e não envolvida na tarefa (JOHNSON et al. 2015; JOHNSON et al. 2014; BOGDANIS et al. 1994). No entanto, os mecanismos envolvidos na piora do desempenho nessas condições têm sido os mais diversos. Especificamente, estudos têm apontado as alterações periféricas devido a maior acúmulo de metabólitos (BOGDANIS et al. 1994; GRANT et al. 2014) e redução do comando motor para musculatura exercitada (JOHNSON et al. 2015) como causa do prejuízo no desempenho após fadiga prévia de músculos não envolvidos na tarefa. Do mesmo modo, a redução do desempenho após fadiga prévia dos músculos envolvidos na tarefa tem sido atribuída a menor recrutamento muscular pelo SNC (AMANN e DEMPSEY, 2008) e a maior PSE devido ao aumento no comando motor (MARCORA et al. 2008; MORREE e MARCORA, 2013).

Significativa fadiga central e periférica foram encontradas após a realização dos 100-DJ comparado à CON e FP. Adicionalmente, significativa fadiga de baixa frequência também foi constatada em FP quando comparado à FB e CON. Por outro lado, após os 4 km de ciclismo, apenas parâmetros relacionados à fadiga periférica apresentaram maiores alterações em FP. Esses achados sugerem que embora haja

fadiga central após 100-DJ, essa fadiga central não é o fator limitante do desempenho nos 4 km de ciclismo, que por sua vez parece ser limitado por aumento exacerbado da fadiga periférica. Portanto, nossos resultados não corroboram o conceito de que existe um limiar crítico periférico que não é ultrapassado sob condições normais sem uso de fármacos (AMANN e DEMPSEY, 2008; HUREAU et al. 2014). Ainda de acordo com os nossos achados, a maior fadiga periférica parece ter sido causada por alterações no processo excitação-contração, visto que a fadiga de baixa frequência tem sido associada à falha no acoplamento excitação-contração do músculo (EDWARDS et al. 1977, RATKEVICIUS et al. 1998) devido à redução na liberação do cálcio a partir do retículo sarcoplasmático (WESTERBLAD et al. 1993; LÄNNERGRÉN et al. 1996). Desse modo, nossos resultados sugerem que o desempenho no ciclismo realizado após fadiga prévia dos músculos locomotores é prejudicado por exacerbada fadiga periférica atribuída a menor liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático.

Em relação à função neuromuscular avaliada na condição com fadiga prévia dos membros superiores, não encontramos diferenças significativas em nenhum dos parâmetros relacionados à fadiga central e periférica. Esses achados corroboram, em parte, com os achados de Johnson et al (2015). Da mesma forma que o encontrado no presente estudo, Johnson e colaboradores (2015) não encontraram maior fadiga periférica após o exercício prévio de braço. Por outro lado, após o teste de intensidade constante de membros inferiores com duração fixa, Johnson et al (2015) encontraram exacerbada fadiga central. Uma possível explicação para esses diferentes resultados pode estar no exercício realizado após fadiga prévia de membros superiores. Em nosso estudo, os participantes realizaram 4 km de ciclismo contrarrelógio, ao passo que no estudo de Johnson et al. (2015) foi utilizado teste de carga constante com intensidade correspondente a 85% P_{Omax}. Dessa forma, o desempenho nesses diferentes exercícios pode ser limitado por diferentes mecanismos. Nesse sentido, os participantes do nosso estudo apresentaram menor fadiga periférica ao final dos 4 km de ciclismo, demonstrando que o desempenho não foi limitado por alterações nos músculos envolvidos no ciclismo. Coletivamente, nossos resultados sugerem que o desempenho durante 4 km ciclismo foi prejudicado devido a maior percepção de esforço, ao considerarmos que os indivíduos apresentaram similar PSE para menor intensidade comparado com CON, e maior FC durante a sua realização. Porém,

outros fatores, não mensurados no presente estudo, pode ter contribuído para redução no desempenho.

Nesse sentido, alguns estudos têm (BANGSBO et al. 1995, 1996) demonstrado que o exercício prévio realizado com os braços é capaz de promover maior acúmulo de lactato e H^+ no músculo vasto lateral, indicando que mecanismos periféricos estariam associados com a redução do desempenho no exercício de membros inferiores após fadiga prévia dos músculos superiores. Porém, esses estudos não avaliaram o nível de fadiga periférica. Em nosso estudo, ao contrário do que os resultados encontrados por Bangsbo et al. (1995, 1996), nós encontramos menor fadiga periférica após o teste de 4 km de ciclismo na condição FB em comparação com a condição CON. Desse modo, nossos achados sugerem que o maior acúmulo de lactato e H^+ nos músculos da perna após exercício prévio de braço demonstrado nos estudos de Bangsbo et al. (1995,1996) não resulta em maior fadiga periférica. De fato, não encontramos diferença significativa em $1Hz_{pot}$ entre as condições FB e CON.

6 LIMITAÇÕES

É importante destacar que nossos estudos apresentam algumas limitações. No estudo 1, Não foi dado recompensa externa a afim de manter os participantes motivados. No entanto, apesar de ter ocorrido redução na motivação em CON e TC, a mesma não diferiram entre estas condições. Assim, a motivação foi afetada na mesma magnitude em ambas as condições sem comprometer os nossos achados. Em nosso estudo 2, a existência do dano muscular foi avaliada por meio de medidas indiretas. Embora essas medidas indiretas sejam consideradas bons indicadores de dano muscular, estudos demonstrando danos nas estruturas do músculo esquelético de indivíduos treinados e sua relação com a regulação da estratégia de prova ainda são necessários. A principal limitação dos nossos estudos encontra-se na falta de medida que avalie o comando motor e alterações periféricas durante a realização do teste contrarrelógio. Embora a técnica de estimulação elétrica realizada antes e após as intervenções e após o teste contrarrelógio nos forneça indícios do que pode ter ocorrido durante o teste contrarrelógio de ciclismo, a falta de uma medida que avalie o comando motor e alterações periféricas durante a realização dos 4 km de ciclismo é a principal limitação dos estudos apresentados na presente tese. Porém, a medida

do comando motor e de alterações periféricas durante exercício dinâmico envolvendo grandes grupamentos musculares tem sido um grande desafio para os pesquisadores devido, principalmente, as limitações tecnológicas.

7 CONCLUSÃO

De um modo geral, os resultados dos estudos que compõe a presente tese sugerem que apenas a execução prévia de exercício com a mesma musculatura envolvida no ciclismo promove alterações na estratégia de prova e nos componentes periféricos da fadiga neuromuscular após o teste contrarrelógio de 4 km de ciclismo. Por outro lado, o desempenho durante os 4 km de ciclismo é afetado de maneira negativa pela fadiga prévia dos músculos envolvidos e não envolvidos no ciclismo e esse prejuízo tende a permanecer 48 horas após a realização de 100 *drop jumps*. Adicionalmente, a tarefa cognitiva de longa duração não promove alterações no desempenho, estratégia de prova ou nos componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular. Em resumo, com base em nossos resultados, é possível sugerir que a estratégia de prova durante os 4 km de ciclismo parece ser regulada, principalmente, por meio de alterações ocorridas na musculatura envolvida no ciclismo.

REFERÊNCIAS

- ABBISS, C.R.; LAURSEN, P.B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Medicine**, v.38, n.3, p.239-252, 2008.
- AISBETT B. et al. Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. **Journal of Sports Sciences**, v.27, n.11, p.1201-1209, 2009a.
- AISBETT, B. et al. Influence of all-out and fast start on 5-min cycling time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.41, n.10, p.1965-1971, 2009b.
- ALTAREKI, N. et al. Effects of environmental heat stress (35 degrees C) with simulated air movement on the thermoregulatory responses during a 4-km cycling time trial. **International Journal of Sports Medicine**, v.30, n.1, p.9-15, 2009.
- AMANN M. Central and peripheral fatigue: interaction during cycling exercise in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.43, n.11, p.2039-2245, 2011.
- AMANN, M. et al. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. **Journal of Physiology**, v.587, n.1, p.271–283, 2009.
- AMANN, M.; DEMPSEY, J.A. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. **Journal of Applied Physiology**, v.586, n.1, p.161-173, 2008.
- ATKINSON, G. et al. Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. **Sports Medicine**, v.37, n.8, p.647-667, 2007.
- ATKINSON, G.; BRUNSKILL, A. Pacing strategies during a cycling time trial with simulated headwinds and tailwinds. **Ergonomics**, v.43, n.10, p.1449-1460, 2000.
- BANGSBO, J. et al. Lactate and H⁺ uptake in inactive muscles during intense exercise in man. **Journal of Physiology**, v1, n.488, p. 219–229, 1995.
- BANGSBO, J. et al. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. **Journal of Physiology**, v1, n.495, p. 587–596, 1996.
- BEHRENS, M.; MAU-MOELLER, A.; BRUHN, S. Effect of exercise-induced muscle damage on neuromuscular function of the quadriceps muscle. **International Journal of Sports Medicine**, v.33, n.8, p.600-606, 2012.
- BERTUZZI, R. Pacing strategy determinants during a 10-km running time trial: contributions of perceived effort, physiological, and muscular parameters. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v.28, n.6, p.1688-1696, 2014.
- BISHOP, D.; BONETTI, D.; DAWSON, B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.34, n.6, p.1041-1047, 2002.

BOGDANIS, G.C.; NEVILL, M.E.; LAKOMY, H.K. Effects of previous dynamic arm exercise on power output during repeated maximal sprint cycling. **Journal of Sports Sciences**, v.12, n.4, p.363–370, 1994.

BORG, G.A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.14, n.5, p.377–381, 1982.

BROWNSBERGER, J. et al. Impact of mental fatigue on self-paced exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v.13, n.12, p.1029-1036, 2013.

BYRD, S.K. Alterations in the sarcoplasmic reticulum: a possible link to exercise-induced muscle damage. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.24, n.5, p.531-526, 1992.

CARTER, H. et al. Muscle glycogen depletion alters oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.36, n.6, p.965–972, 2004.

CORREIA-OLIVEIRA, C.R. et al. Prior Low- or High-Intensity Exercise Alters Pacing Strategy, Energy System Contribution and Performance during a 4-km Cycling Time Trial. **PLoS ONE**, V.9, n.10: e110320, 2014.

DAVIS, J.M. et al., Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. **American Journal of Physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology**, v.284, n.2, p.R399–R404, 2003.

DE KONING, J.J.; BOBBERT, M.F.; FOSTER, C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.2, n.3, p.266-277, 1999.

DECORTE, N. et al. Central and peripheral fatigue kinetics during exhaustive constant-load cycling. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.22, n.3, p.381–391, 2012.

DUNCAN, M. et al. Mental fatigue negatively influences manual dexterity and anticipation timing but not repeated high-intensity exercise performance in trained adults. **Research in Sports Medicine**, v.23, n.1, p.1-13, 2014.

EDWARDS, R.H.T. et al. Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.272, n.3, 1977.

ESTON, R, et al. The effect of antecedent fatiguing activity on the relationship between perceived exertion and physiological activity during a constant load exercise task. **Psychophysiology**. v.44, n.5, p. 779-786, 2007.

FLEISS, .JL. **Design and Analysis of Clinical Experiments**. Wiley Classics Library: Wiley-Interscience, 1999.

FRIDÉN, J.; SJOSTROM, M.; EKBLOM, B. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. **International Journal of Sports Medicine**, v.4, n.3, p.170–176, 1983.

GANDEVIA, S.C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v.81, n.4, p.1725–1789, 2001.

GARLAND, S.W. An analysis of the pacing strategy adopted by elite competitors in 2000 m rowing. **British Journal of Sports Medicine**, v.39, n.1, p.39-42, 2005.

GRANT, M.C. The effect of prior upper body exercise on subsequent Wingate performance. **BioMed Research International**, p.1-7, 2014.

HERMENS, H.J. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. v.10, n.5, p.361-374, 2000.

HETTINGA, F.J. et al. Biodynamics: Effect of pacing strategy on energy expenditure during a 1500-m cycling time trial. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.39, n.12, p.2212-2218, 2007.

HETTINGA, F.J. et al. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trial. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.38, n.8, p.1484-1491, 2006.

HOPKINS, W.G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Medicine**, v.30, n.1, p.1-15, 2000.

HOPKINS, W.G. Spreadsheets for Analysis of Controlled Trials, with Adjustment for a Subject Characteristic. **Sportscience**, v.10, p.46-50, 2006.

HUREAU, T.J. Exercise performance is regulated during repeated sprints to limit the development of peripheral fatigue beyond a critical threshold. **Experimental Physiology**, v.99, n.7, p. 951-963, 2014.

JEUKENDRUP, A. et al. A new validated endurance performance test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.28, n.2, p. 266–270, 1996.

JOHNSON, M.A. et al. Locomotor muscle fatigue is not critically regulated after prior upper body exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.119, n.7, p.840–850, 2015.

JOHNSON, M.A. Prior upper body exercise reduces cycling work capacity but not critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.46, n.4, p.802–808, 2014.

KUIPERS, H. et al. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. **International Journal of Sports Medicine**, v.6, n.4, p.197–201, 1985.

LÄNNERGREN, J.; WESTERBLAD, H.; BRUTON, J.D. Slow recovery of single skeletal muscle fibres. **Acta physiologica Scandinavica**. v.156, n.3, 1996.

LAURSEN, P.B. et al. Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.39, n.8, p.1374–1379, 2007.

LIMA-SILVA, A.E. et al. Listening to music in the first, but not the last 1.5 km of a 5-km running trial alters pacing strategy and improves performance. **International Journal of Sports Medicine**, v.33, n.10, p.813-818, 2012.

LIMA-SILVA, A.E. et al. Prior exercise reduces fast-start duration and end-spurt magnitude during cycling time-trial. **International Journal of Sports Medicine**, v.34, n.8, p.736-741, 2013.

LIMA-SILVA, A.E. et al. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. **European Journal of Applied Physiology**, v.108, n.5 p.1045-1053, 2010.

LOPES-SILVA, J.P. Influence of music on performance and psychophysiological responses during moderate-intensity exercise preceded by fatigue. **Physiology & Behavior**, v. 139, p. 274-280, 2015.

MACMAHON, C. et al. Cognitive fatigue effects on physical performance during running. **Journal of Sport & Exercise Psychology**, v.36, n. 4, p.375-381, 2014.

MALM, C. et al. Immunological changes in human skeletal muscle and blood after eccentric exercise and multiple biopsies. **Journal of Physiology**, v. 15, n.529, p. 243-262, 2000.

MARCORA, S. Counterpoint: Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is not an important determinant of endurance exercise performance. **Journal of Applied Physiology**, v.108, n.2, p.452-452, 2010

MARCORA, S. M.; BOSIO, A.; MORREE, H. M. Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. **American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.294, n.3, p. R874-883, 2008.

MARCORA, S.M.; BOSIO, A. Effect of exercise-induced muscle damage on endurance running performance in humans. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.17, n.6, p.662-671, 2007.

MARCORA, S.M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.106, n.3, p.857-864, 2009.

MARTIN, K. et al. Mental fatigue does not affect maximal anaerobic exercise performance. **European Journal of Applied Physiology**, v.115, n.4, p.715-725, 2014.

MARTIN, V. et al. Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. **Journal of Applied Physiology**, V.97, n.5, p.1923-1929, 2004.

MATTERN, C.O. et al. Impact of starting strategy on cycling performance. **International Journal of Sports Medicine**, v.22, n.5, p.350-355, 2001.

McCUTCHEON, L.J.; BYRD, S.K. HODGSON, D.R. Ultrastructural changes in skeletal muscle after fatiguing exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.72, n.3, p.1111–1117, 1992.

McLellan, T.M. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. *Int J Sports Med* 1985;6:30-5

MILLET, G.Y. et al. Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon. **PLoS One**, v.6, n.2, p.e17059, 2011.

MORREE, H.M.; MARCORA, S.M. Effects of isolated locomotor muscle fatigue on pacing and time trial performance. **European Journal of Applied Physiology**, v.113, n.9, p.2371–2380, 2013.

NEYROUD, D. et al. The effect of muscle fatigue on stimulus intensity requirements for central and peripheral fatigue quantification. **European Journal of Applied Physiology**, v.114, n.1, p.205-215, 2014.

NOSAKA, K.; NEWTON, M.; SACCO P. Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. **Scandinavian journal of medicine and science in sports**, v. 12, n. 6, p. 337-346, 2002.

PADILLA, S. et al. Scientific approach to the 1-h cycling world record: a case study. **Journal of Applied Physiology**, v.89, n.4 p.1522-1527, 2000.

PAGEAUX B. et al. Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 114, n. 5, p.1095-1105, 2014a.

PAGEAUX, B. et al. Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. **Frontiers in Human Neuroscience**, v.9, n.67, p.1-12, 2015.

PAGEAUX, B. The psychobiological model of endurance performance an effort-based decision-making theory to explain self-paced endurance performance. **Sports Medicine**. V. 44, n.9, p.1319-1320, 2014b.

PAGEAUX, B.; MARCORA, S.M.; LEPERS, R. Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.45, n.12, p.2254-2264, 2013.

RATKEVICIUS, A. et al. Effects of contraction duration on low frequency fatigue in voluntary and electrically induced exercise of quadriceps muscle in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v.77, n.5, 1998.

ROBINSON, S. et al. Influence of fatigue on the efficiency of men during exhausting runs. **Journal of Applied Physiology**, v.12, n.2, p.197-201, 1958.

ROELANDS, B. et al. The effects of acute dopamine reuptake inhibition on performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.40, n.5, p.879-885, 2008.

ROZAND, V. et al. Does mental exertion alter maximal muscle activation? **Frontiers in Human Neuroscience**, v.8, n. 775, p.1-10, 2014.

SANDALS, L.E. et al. Influence of pacing strategy on oxygen uptake during treadmill middle-distance running. **International Journal of Sports Medicine**, v.27, n.1, p.37-42, 2006.

SANTOS, R. A. et al. Caffeine alters anaerobic distribution and pacing during a 4000-m cycling time trial. **PLoS One**, v.8, n.9, p.e75399, 2013.

SILVA-CAVALCANTE, M.D. et al. Caffeine increases anaerobic work and restores cycling performance following a protocol designed to lower endogenous carbohydrate availability. **PLoS One**, v.8, n.8, p.e72025, 2013.

ST CLAIR GIBSON, A. et al. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. **Sports Medicine**, v.36, n.8, p.705-722, 2006.

St CLAIR GIBSON, A.; SCHABORT, E, J.; NOAKES, T.D. Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling. **American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology**, v. 281, n. 1, p. R187-196, 2001.

STONE, M.R. et al. Consistency of perceptual and metabolic responses to a laboratory-based simulated 4,000-m cycling time trial. **European Journal of Applied Physiology**, v.111, p.1807–1813, 2011.

STROJNIK, V.; KOMI, P.V. Neuromuscular fatigue after maximal stretch shortening cycle exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.84, n.1, p.344–350, 1998.

SWAIN, D.P. A model for optimizing cycling performance by varying power on hills and in wind. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.29, n.8, p.1104-1108, 1997.

THOMAS, K. et al. Central and peripheral fatigue in male cyclists after 4-,20-, and 40-km time trials. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.43, n.3, p.537-546, 2015.

THOMPSON, K.G. et al. The effect of even, positive and negative pacing on metabolic, kinematic and temporal variables during breaststroke swimming. **European Journal of Applied Physiology**, v.88, n.4, p.438-443, 2003.

THOMPSON, K.G.; HALJAND, R.; MACLAREN, D.P. An analysis of select ed kinematic variables in national and elite male and female 100-m and 200-m breaststroke swimmers. **Journal of Sports sciences**, v.18, n.6, p.421-431, 2000.

TUCKER, R. et al. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. **Pflügers Archiv: European journal of physiology**, v.448, n.4, p.422–430, 2004.

TUCKER, R.; LAMBERT, M.I.; NOAKES, T.D. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. **International journal of sports physiology and performance**, V.1, n.3, p. 233-45, 2006.

TWIST, C.; ESTON, R.G. The effect of exercise-induced muscle damage on perceived exertion and cycling endurance performance. **European Journal of Applied Physiology**, v.105, n.4, p.559-567, 2008.

ULMER, H.V. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. **Experientia**, v.52, n.5, p.416-420, 1996.

VARGAS, N.T.; MARINO, F. A neuroinflammatory model for acute fatigue during exercise. **Sports Medicine**, v.44, n.11, p.1479-1487, 2014.

WESTERBLAD, H.; DUTY, S.; ALLEN, D.G. Intracellular calcium concentration during low-frequency fatigue in isolated single fibres of mouse skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v.75, n.1, p.382-388, 1993.

WILLIAMSON, J.W. et al. Brain activation by central command during actual and imagined handgrip under hypnosis. **Journal of Applied Physiology**, v.92, n.3, p.1317–1324, 2002.

WILLIAMSON, J.W. Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: cardiovascular responses and brain activation. **Journal of Applied Physiology**, v.90, n.4, p.1392–1399, 2001.

ANEXOS

Anexo I — Parecer do comitê de ética

ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: FATORES DETERMINANTES DA ESTRATÉGIA DE PROVA EM CICLISMO DE MÉDIA DISTÂNCIA

Pesquisador: Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 25465214.3.0000.5391

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 966.093

Data da Relatoria: 26/02/2015

Apresentação do Projeto:

Trata-se do 2º. Relato relacionado ao adendo ao protocolo de pesquisa original.

Foi esclarecido pelo pesquisador que o presente projeto não foi iniciado, não havendo, portanto, dados previamente coletados ou sujeitos envolvidos na pesquisa.

Foi esclarecido, também, que a solicitação de não realização do protocolo experimental 3 original, que pretendia avaliar os efeitos da ingestão de bloqueador beta-adrenérgico sobre a estratégia de prova, deve-se à falta de recursos e equipamentos para a realização de algumas medidas de variáveis importantes para o pesquisador.

É solicitada no adendo a inclusão de um novo protocolo experimental 3, em substituição ao protocolo 3 original, que pretende analisar os efeitos da fadiga prévia de membros superiores sobre a estratégia de prova e o nível de fadiga periférica durante e após 4 km de ciclismo contrarrelógio.

Adicionalmente, solicita-se a inclusão no estudo, de avaliações neuromusculares por meio de

Endereço: Av. Profº Melo Moraes, 65
Bairro: CIDADE INTERCAP
UF: SP
Município: TABOÃO DA SERRA
CEP: 06757-060
Telefone: (11)3091-3097
Fax: (11)3812-4141
E-mail: cep39@usp.br

ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Continuação do Parecer: 986.093

contrações voluntárias máximas e estimulação elétrica transcutânea no nervo femoral, antes e após os protocolos para indução de dano muscular (Estudo 1), fadiga mental (Estudo 2), fadiga de membros superiores (Estudo 3 proposto no adendo) e após os testes contrarrelógio.

Ainda, em relação ao desenho experimental do estudo 1, pretende-se alterar o intervalo de dias entre as avaliações, sendo de 14 dias anteriormente para 7 dias.

Objetivo da Pesquisa:

Já mencionado em relato anterior.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

As alterações solicitadas no projeto não evidenciam risco adicional aos participantes na pesquisa, visto que, o procedimento de estimulação elétrica transcutânea parece causar somente um leve desconforto no momento de sua aplicação e é um procedimento, segundo o pesquisador, realizado rotineiramente no laboratório de avaliação.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Tendo sido esclarecido as considerações no relato anterior e a partir da informação que o estudo não foi iniciado, parece factível a alteração no protocolo experimental solicitada, visto que, as modificações propostas não parecem acarretar riscos adicionais aos participantes.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foi incluído no novo TCLE, os procedimentos do novo protocolo experimental 3 e a informação do possível desconforto durante a estimulação elétrica transcutânea.

Recomendações:

Aprovação do adendo.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Solicita-se observar o título do TCLE e substituir a palavra "durante" para "em", conforme cadastro na Plataforma Brasil.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. Profº Melo Moraes, 65 CEP: 06.757-060
Bairro: CIDADE INTERCAP
UF: SP Município: TABOÃO DA SERRA
Telefone: (11)3091-3097 Fax: (11)3812-4141 E-mail: cep39@usp.br

ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 986/093

Considerações Finais a critério do CEP:

TABOAO DA SERRA, 26 de Fevereiro de 2015

Assinado por:

Maria Augusta Peduti Dal'Molin Kiss
(Coordenador)

Endereço: Av. Profº Mello Moraes, 65 **CEP:** 06757-060
Bairro: CIDADE INTERCAP
UF: SP **Município:** TABOAO DA SERRA
Telefone: (11)3091-3097 **Fax:** (11)3812-4141 **E-mail:** cep39@usp.br

Página 03 de 03

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE
Comitê de Ética em Pesquisa

Formulário E

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. DADOS DO INDIVÍDUO

Nome completo _____
Sexo ☐ Masculino ☐ Feminino
RG _____
Data de nascimento _____
Endereço completo _____
CEP _____
Fone _____
e-mail _____

2. RESPONSÁVEL LEGAL

Nome completo _____
Natureza (grau de parentesco, tutor, curador, etc.) _____
Sexo ☐ Masculino ☐ Feminino
RG _____
Data de nascimento _____
Endereço completo _____
CEP _____
Fone _____
e-mail _____

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. Título do Projeto de Pesquisa

FATORES DETERMINANTES DA ESTRATÉGIA DE PROVA DURANTE CICLISMO DE MÉDIA DISTÂNCIA

2. Pesquisador Responsável

Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

3. Cargo/Função

Docente

4. Avaliação do risco da pesquisa:

☒ RISCO MÍNIMO ☐ RISCO BAIXO ☐ RISCO MÉDIO ☐ RISCO MAIOR
(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

5. Duração da Pesquisa

4 meses

III - EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO INDIVÍDUO OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, DE FORMA CLARA E SIMPLES, CONSIGNANDO:

A estratégia de prova é definida como a maneira pela qual o atleta distribui a potência/velocidade ao longo de uma prova com intuito de atingir o ponto final da prova no menor tempo possível. Investigações prévias têm proposto um mecanismo multifatorial que estaria envolvido na escolha da estratégia de prova. Acredita-se

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE
Comitê de Ética em Pesquisa

Formulário E

que esse mecanismo é centralmente regulado de acordo com alterações fisiometabólicas produzidas pelo exercício físico. Desse modo, as alterações no sistema músculo esquelético ou nervoso central poderiam resultar em mudanças na estratégia de prova adotada. Entretanto, a contribuição de cada um desses sistemas fisiológicos para a estratégia de prova não está completamente elucidada. Sendo assim, o presente projeto de pesquisa contará com três estudos, os quais analisarão a influência dos sistemas muscular e nervoso central sobre a estratégia de prova adotada.

Serão realizados três estudos. Nos três estudos, os mesmos procedimentos serão adotados nas três primeiras visitas (1ª etapa). Na primeira visita, todos os participantes realizarão uma avaliação antropométrica para caracterização da amostra e um teste progressivo máximo para determinação do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) e potência máxima (W_{max}). Nas visitas dois e três, os participantes realizarão dois testes contrarrelógio com 4 km de distância para a familiarização com os procedimentos (FIGURA 1). Em adição, você receberá estímulos elétricos por meio de eletrodos de superfície fixados sobre o nervo femoral (perna) para identificação da intensidade onde todas as fibras musculares seriam recrutadas.

Estudo 1 você realizará adicionalmente os seguintes testes:

No estudo 1, durante as próximas visitas você realizará dois testes contrarrelógio (4 km) em ordem contrabalançada, separados por 7 dias, nas seguintes condições: 1) sem exercício prévio (condição controle); 2) imediatamente após a realização de um protocolo para indução de dano muscular que consistirá de 100 saltos a partir de uma plataforma com 35 cm de altura; 3) 48 h após a realização de um protocolo para indução de dano muscular (condição DM). Antes, imediatamente após e 48h após o protocolo para indução de dano muscular será coletado 10 mL de sangue da sua veia do antebraço por meio de um cateter para análises de marcadores de dano muscular. Adicionalmente, antes e após o protocolo para indução de dano muscular e após os testes contrarrelógio será realizado um teste de contração voluntária máxima em uma cadeira extensora. Durante esse teste você será orientado a exercer força contra um anteparo fixado em sua perna através de velcro. Antes, durante e logo após a contração voluntária máxima será realizado estímulos elétricos por meio de eletrodos de superfície fixados sobre o nervo femoral. Essa medida é importante, pois por meio dela nós avaliaremos parâmetros relacionados à fadiga central e periférica.

Estudo 2 você realizará adicionalmente os seguintes testes:

No estudo 2, você realizará dois testes contrarrelógio (4 km) em ordem contrabalançada, separados por 7 dias, nas seguintes condições: 1) sem fadiga mental (condição controle); 2) imediatamente após a realização de um protocolo para indução de fadiga mental (condição FM) que consistirá de uma tarefa cognitiva com duração de 90 min. Adicionalmente, antes e após o protocolo para indução de fadiga mental e o documentário e após testes contrarrelógio serão realizados testes de contração voluntária máxima em uma cadeira extensora. Durante esse teste você será orientado a exercer força contra um anteparo fixado em sua perna através de velcro. Antes, durante e logo após a contração voluntária máxima será realizado estímulos elétricos por meio de eletrodos de superfície fixados sobre o nervo femoral. Essa medida é importante, pois por meio dela nós avaliaremos parâmetros relacionados à fadiga central e periférica.

Figura 1 - Etapas dos estudos

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA:

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE
Comitê de Ética em Pesquisa

Formulário E

1. Você terá acesso, a qualquer tempo, às informações sobre procedimentos, riscos e benefícios relacionados à pesquisa, inclusive para dirimir eventuais dúvidas;
2. Liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo, sem que isto traga prejuízo à continuidade da assistência;
3. Salvaguarda da confidencialidade, sigilo e privacidade; e
4. Disponibilidade de assistência no HU ou HCFMUSP, por eventuais danos à saúde, decorrentes da pesquisa.

V - INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
Av. Professor Mello Moraes, 65
Telefone: (11) 2985-6185
Marcos David da Silva Cavalcante
Endereço: Rua Elísio de Carvalho, 132
Telefone: (11) 98087-0281/94830-5079

VI - OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa.

São Paulo, ____/____/____

assinatura do sujeito da pesquisa
ou responsável legal

assinatura do pesquisador
(carimbo ou nome legível)